Ex libris Dallmayer
Abtlg IV
Nro 14. 2 Bd.
Phys. q. 627 z (2

<36627060190018

<36627060190018

Bayer. Staatsbibliothek

Holzstiche
aus dem xylographischen Atelier
von Friedrich Vieweg und Sohn
in Braunschweig.

Papier
aus der mechanischen Papier-Fabrik
der Gebrüder Vieweg zu Wendhausen
bei Braunschweig.

LEHRBUCH

DER

PHYSIK UND METEOROLOGIE.

THEILWEISE NACH

POUILLET'S LEHRBUCH DER PHYSIK

SELBSTÄNDIG BEARBEITET

VON

Dr. JOH. MÜLLER,

Grossh. badisch. Hofrath und Ritter des Zähringer Löwenordens, Professor der Physik an der Universität zu Freiburg im Breisgau, der schweizerischen naturforschenden Gesellschaft Ehrenmitglied und correspondirendes Mitglied mehrer andern gelehrten Gesellschaften.

SIEBENTE

UMGEARBEITETE UND VERMEHRTE AUFLAGE.

IN ZWEI BÄNDEN.

MIT 1798 IN DEN TEXT EINGEDRUCKTEN HOLZSTICHEN, 15 TAFELN, ZUM THEIL IN FARBENDRUCK, UND EINER PHOTOGRAPHIE.

ZWEITER BAND.

BRAUNSCHWEIG,

DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN.

1868.

LEHRBUCH

DER

PHYSIK UND METEOROLOGIE.

VON

DR. JOH. MÜLLER,

Grossh. badisch. Hofrath und Ritter des Zähringer Löwenordens, Professor der Physik an der Universität zu Freiburg im Breisgau, der schweizerischen naturforschenden Gesellschaft Ehrenmitglied und correspondirendes Mitglied mehrer andern gelehrten Gesellschaften.

8. Aufl. 1876 = ad

SIEBENTE

UMGEARBEITETE UND VERMEHRTE AUFLAGE.

IN ZWEI BÄNDEN.

MIT 1798 IN DEN TEXT EINGEDRUCKTEN HOLZSTICHEN, 15 TAFELN, ZUM THEIL IN FARBENDRUCK, UND EINER PHOTOGRAPHIE.

ZWEITER BAND.

BRAUNSCHWEIG,

DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN.

1868.

Bayer. Staatsministerium f. Ernährung, Landwirtschaft u. Forsten Ministerial-Abteilung Bücherei

KGL. BAY. MINISTERIALFORSTBUREAU

Gd/67/12719

A 16

Die Herausgabe einer Uebersetzung in französischer und englischer Sprache, sowie in anderen modernen Sprachen wird vorbehalten.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

VORREDE ZUM ZWEITEN BANDE.

Während es mir gelungen ist, den Umfang des ersten Bandes trotz der bedeutenden Bereicherungen, welche er erfahren hat, fast unverändert zu erhalten, war ein Gleiches bei dem zweiten Bande durchaus unmöglich. Hier ist so viel Neues hinzugekommen, dass weder präcisere Fassung, noch die Abkürzung von physikalisch weniger bedeutenden Parthien im Stande waren, ein namhaftes Anwachsen zu verhindern.

Einen interessanten Zuwachs hat das Capitel von der Reibungselektricität durch die Holtz'sche Maschine erfahren. Wesentlich bereichert und verbessert erscheinen namentlich die Abschnitte von der Construction und der elektromotorischen Kraft galvanischer Elemente, vom elektrischen Leitungswiderstand der Metalle und der Widerstandseinheit, von der specifischen Wärme fester Körper sowohl wie auch der Gase u. s. w. Die Bestimmung des elektrischen Leitungswiderstandes nach absolutem Maasse, welche in der sechsten Auflage noch fehlte, hat in der siebenten ihre Erläuterung gefunden. Die Lehre von den thermo-elektrischen Strömen ist gänzlich umgearbeitet und bedeutend erweitert und endlich eine zusammenhängende Darstellung der mechanischen Wärmetheorie zum ersten Mal in das Werk eingeführt.

Die Meteorologie hätte ich am liebsten ganz weggelassen, da sie ja doch in meiner „kosmischen Physik", welche zwar als selbstständiges Werk erschienen ist, aber auch als dritter Band

dieses Lehrbuchs betrachtet werden kann, ausführlicher besprochen wird. Eine solche Weglassung hätte aber auch eine Aenderung des Titels zur Folge gehabt, welche aus buchhändlerischen Rücksichten nicht räthlich erscheint; ich zog es deshalb vor, die Meteorologie in dieser neuen Auflage noch weiter abzukürzen, als es schon in der vorigen geschehen war.

Freiburg, im November 1868.

J. Müller.

INHALTSVERZEICHNISS ZUM ZWEITEN BANDE.

Viertes Buch.

Die elektrischen Erscheinungen.

Erstes Capitel.

Vom Magnetismus.

Seite

1. Anziehung des Eisens durch Magnete 3
2. Magnetische Polarität . 4
3. Magnetische Fluida . 6
4. Verhalten des Eisens und des Stahls gegen Magnete 9
5. Magnetisiren durch Streichen mit Magnetpolen 13
6. Magnetische Armaturen . 16
7. Tragkraft der Hufeisenmagnete 18
8. Magnetische Declination . 20
9. Magnetische Inclination . 23
10. Richtende Kraft des Erdmagnetismus 25
11. Astatische Nadeln . 26
12. Das Magnetometer . 27
13. Das magnetische Theodolit . 32
14. Variationen der Declination und Inclination 36
15. Störungen der Magnetnadel . 37
16. Intensität des Erdmagnetismus 38
17. Einfluss des Erdmagnetismus auf das Eisen 40
18. Bestimmung der Inclination 41
19. Messung der magnetischen Kräfte 45
20. Gesetz der magnetischen Anziehungen und Abstossungen 48
21. Totalwirkung eines Magnetstabes in die Ferne 50
22. Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus nach absolutem Maass 58
23. Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus mit dem magnetischen Theodolit . 64
24. Variationen der Intensität des Erdmagnetismus 67

Seite
25. Vertheilung des Magnetismus in Magnetstäben 69
26. Magnetische Pole . 73
27. Magnetische Curven . 75
28. Der Sättigungspunkt . 76
29. Einfluss der Wärme auf den Magnetismus 78
30. Einfluss des Lichtes auf den Magnetismus 79

Zweites Capitel.

Die Phänomene der elektrischen Spannung.

31. Entwickelung der Elektricität durch Reibung 81
32. Leiter und Nichtleiter . 82
33. Von den beiden Arten der Elektricität 84
34. Elektrische Fluida . 86
35. Dualisten und Unitarier . 87
36. Mittheilung der Elektricität 88
37. Elektrische Vertheilung . 89
38. Elektroskope und Elektrometer 93
39. Das Elektrophor . 97
40. Die Elektrisirmaschine . 101
41. Versuche mit der Elektrisirmaschine 107
42. Die Influenzelektrisirmaschine 110
43. Dampfelektrisirmaschine . 117
44. Intensität der elektrischen Anziehungen und Abstossungen 122
45. Allmäliger Verlust der Elektricität 126
46. Elektrometer nach dem Principe der Drehwage 128
47. Sitz der elektrischen Ladung 132
48. Anordnung der Elektricität auf der Oberfläche isolirter Leiter . . . 134
49. Elektrische Wirkung der Spitzen und Flammen 136
50. Gebundene Elektricität . 139
51. Die Leydener Flasche . 143
52. Gränze der Flaschenladung 145
53. Das Residuum . 147
54. Versuche mit der Leydener Flasche 151
55. Die elektrische Maassflasche 158
56. Schlagweite der Batterie . 159
57. Wärmeentwickelung durch den Entladungsschlag 163
58. Der Condensator . 168
59. Die Lichtenbergischen Figuren 172
60. Elektrische Funken und Büschel 173
61. Das elektrische Licht im luftverdünnten Raume 177
62. Die Dauer des elektrischen Funkens 179
63. Der elektrische Geruch . 185
64. Elektricitätsentwickelung durch Druck 185
65 Elektricitätserregung durch Wärme 186
66. Entdeckung des Galvanismus 189
67. Der Volta'sche Fundamentalversuch 191
68. Die Spannungsreihe . 193
69. Sitz der elektromotorischen Kraft 195
70. Die Volta'sche Säule . 198

Seite
71. Die trockene Säule . 200
72. Das Säulenelektrometer . 203

Drittes Capitel.

Der elektrische Strom und seine Wirkung auf die durchströmten Körper.

73. Entstehung des elektrischen Stromes 205
74. Verschiedene Formen der galvanischen Kette 206
75. Die Daniell'sche Batterie 209
76. Die Grove'sche Batterie . 211
77. Die Bunsen'sche Säule . 213
78. Die Zink- und Eisensäule 218
79. Verschiedene Combinationen Volta'scher Becher 219
80. Das Ohm'sche Gesetz . 221
81. Das Voltameter . 224
82. Elektromagnetische Rheometer 229
83. Vergleichung der Tangentenbussole mit dem Voltameter 233
84. Experimentelle Bestätigung des Ohm'schen Gesetzes 235
85. Stromverzweigung . 238
86. Leitungswiderstand der Metalldrähte 240
87. Der specifische Leitungswiderstand 241
88. Leitungswiderstand der Legirungen 243
89. Einfluss der Temperatur auf den Leitungswiderstand der Metalle . . 245
90. Einheit des Leitungswiderstandes 247
91. Rheostate und Widerstandssäulen 251
92. Differential-Widerstandsmesser 256
93. Die Constanten galvanischer Rheomotoren 258
94. Verschiedene Methoden zur Bestimmung der elektromotorischen Kraft 262
95. Zweckmässigste Combination einer gegebenen Anzahl rheomotorischer Becher . 268
96. Leitungswiderstand der Flüssigkeiten 272
97. Der specifische Leitungswiderstand der Flüssigkeiten 276
98. Galvanische Polarisation . 279
99. Grösse der galvanischen Polarisation 284
100. Ursache der galvanischen Polarisation 286
101. Grove's Gasbatterie . 287
102. Passivität des Eisens . 289
103. Wärmeentwickelung durch den galvanischen Strom 293
104. Glühen von Metalldrähten durch den galvanischen Strom 297
105. Der galvanische Flammenbogen 301
106. Photometrische Vergleichung des elektrischen Kohlenlichtes 303
107. Praktische Anwendung des elektrischen Lichtes 305
108. Der galvanische Funke . 310
109. Galvanische Wasserzersetzung 311
110. Zersetzung der Alkalien durch den galvanischen Strom 314
111. Galvanische Zersetzung geschmolzener Chlormetalle 316
112. Galvanische Zersetzung der Salzlösungen 318
113. Das elektrolytische Gesetz 321
114. Chemische Wirkungen der Reibungselektricität 323

Seite
115. Leitung schwacher Ströme durch Flüssigkeiten 325
116. Secundäre Action . 325
117. Theorie der Elektrolyse der Salzlösungen 327
118. Wanderung der Ionen zwischen den Polplatten 330
119. Mechanische Ueberführung der Flüssigkeiten vom positiven zum negativen Pole . 332
120. Praktische Anwendungen der Elektrolyse 334
121. Elektrochemische Theorie . 338
122. Quelle der galvanischen Elektricität 341

Viertes Capitel.

Elektromagnetismus und Elektrodynamik.

123. Ablenkung der Magnetnadel durch den galvanischen Strom 347
124. Rheoskope und Rheometer . 349
125. Der Multiplicator . 354
126. Spiegelgalvanometer . 359
127. Magnetisirung des weichen Eisens durch den Strom 364
128. Magnetisirung von Stahlstäben 368
129. Gesetze des Elektromagnetismus 369
130. Reduction der Factoren . 376
131. Tragkraft der Elektromagnete 379
132. Vertheilung des Magnetismus im Querschnitte der Eisenstäbe . . . 381
133. Magnetische Wirkungen der Reibungselektricität 383
134. Beziehungen zwischen Torsion und Magnetismus 383
135. Galvanisches Tönen . 384
136. Benutzung des Elektromagnetismus als Triebkraft 390
137. Theorie der elektromagnetischen Motoren 397
138. Elektrische Telegraphie . 402
139. Der Drucktelegraph . 403
140. Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität 410
141. Galvanisch registrirende Uhren 412
142. Elektrische Uhren . 415
143. Elektromagnetische Uhren . 417
144. Das elektrische Chronoskop 418
145. Richtung der Ströme durch Magnete 423
146. Gegenseitige Wirkung galvanischer Ströme auf einander 429
147. Gekreuzte Ströme . 433
148. Elektrodynamisches Gesetz 436
149. Weber's elektrodynamische Versuche 438
150. Ampère's Theorie des Magnetismus 442
151. Rotation eines beweglichen Stromes um einen Magnet 445
152. Rotation eines beweglichen Magnets um einen festen Strom 449
153. Rotation eines Stromes unter dem Einflusse eines anderen 452
154. Magnetisches Moment eines Kreisstromes 453
155. Messung galvanischer Ströme nach absolutem Maass 456

Fünftes Capitel.

Thermo-elektrische Ströme.

156. Thermo-elektrische Elemente 459
157. Die thermo-elektrische Spannungsreihe 462

Seite
158. Einfluss der Temperaturdifferenz 468
159. Ströme in einem Metallstück 469
160. Kalte und warme Drähte . 470
161. Thermo-elektrische Säulen 472
162. Kälteerzeugung durch den elektrischen Strom 477
163. Thermoströme zwischen Flüssigkeiten 482
164. Thermo-elektrisches Verhalten der Flamme 483

Sechstes Capitel.

Inductionserscheinungen.

165. Wirkung eines elektrischen Stromes auf einen in sich geschlossenen leitenden Kreis . 485
166. Unterbrechungs-Vorrichtungen 488
167. Inductionsapparate für physiologische Zwecke 492
168. Inductionsströme durch Reibungselektricität 494
169. Der Extrastrom . 496
170. Verstärkung der Inductionsströme durch Eisen 500
171. Inducirte Ströme, welche bei galvanometrischer Gleichheit ungleich physiologisch wirken . 501
172. Quantität und Tension der Elektricität inducirter Ströme 503
173. Der Funkeninductor . 507
174. Versuche mit dem Funkeninductor 515
175. Das Vibrations-Chronoskop 519
176. Der Inductionsfunken im leeren Raum 522
177. Einwirkung des Magnets auf die elektrische Entladung in verdünnten Gasen . 528
178. Alternirende Ströme . 531
179. Induction elektrischer Ströme durch Magnete 532
180. Magneto-elektrische Inductionsapparate 538
181. Vergleichung der magneto-elektrischen Rotationsmaschinen mit anderen Elektromotoren . 549
182. Reaction der durch Bewegung inducirten Ströme 551
183. Induction elektrischer Ströme durch den Erdmagnetismus 555
184. Widerstandsbestimmung nach absolutem Maass 561
185. Inductionsströme höherer Ordnung 567
186. Weber's Theorie der Elektrodynamik und der Voltainduction . . . 569
187. Die Volta-Induction . 572
188. Diamagnetismus . 573
189. Drehung der Polarisationsebene durch magnetisirende Kräfte . . . 574
190. Gesetze der elektromagnetischen Drehung der Polarisationsebene . 579
191. Abstossende Wirkung der Magnete auf nicht magnetische Körper . 585
192. Theorie des Diamagnetismus 589
193. Diamagnetismus der Flamme und der Gase 594
194. Intensitätsbestimmung magnetischer und diamagnetischer Kräfte . . 596
195. Einfluss der Krystallisation auf die diamagnetischen Erscheinungen 603
196. Galvanische Zuckung . 604
197. Allgemeines Gesetz der Nervenerregung durch den elektrischen Strom 606
198. Der Muskelstrom . 607
199. Elektrische Fische . 612

Fünftes Buch.

Von der Wärme.

Erstes Capitel.

Ausdehnung durch die Wärme.

Seite
200. Das Thermometer 619
201. Der Ausdehnungscoëfficient 624
202. Messung der linearen Ausdehnung 625
203. Die cubische Ausdehnung 634
204. Anwendungen der Ausdehnung fester Körper 636
205. Ungleiche Ausdehnung der Krystalle nach verschiedenen Richtungen 640
206. Absolute Ausdehnung der Flüssigkeiten 641
207. Scheinbare Ausdehnung der Flüssigkeiten 644
208. Ungleichförmigkeit der Ausdehnung der Flüssigkeiten 646
209. Dichtigkeitsmaximum des Wassers 649
210. Ausdehnung der Körper beim Uebergang aus dem festen in den flüssigen Zustand 655
211. Ausdehnung gasförmiger Körper 659
212. Luftthermometer 668
213. Reduction der Gasvolumina 670
214. Bestimmung des specifischen Gewichts der Gase 672

Zweites Capitel.

Veränderung des Aggregatzustandes.

215. Schmelzen 677
216. Binden der Wärme beim Uebergange aus dem festen in den flüssigen Zustand 679
217. Kältemischungen 682
218. Freiwerden der Wärme beim Erstarren 685
219. Dampfbildung 689
220. Unterschied zwischen permanenten Gasen und Dämpfen 690
221. Messung der Spannkraft der Wasserdämpfe unterhalb der Temperatur des Siedepunktes 694
222. Messung der Spannkraft der Wasserdämpfe für Temperaturen oberhalb des Siedepunktes 697
223. Graphische und algebraische Darstellung des Spannkraftgesetzes . . 702
224. Spannkraft der Dämpfe verschiedener Flüssigkeiten 707
225. Gleichgewicht der Spannkraft in ungleich erwärmten mit einander verbundenen Räumen 710
226. Specifisches Gewicht der Dämpfe 711
227. Zunahme der Dichtigkeit des gesättigten Dampfes bei wachsender Temperatur 715
228. Dichtigkeit der Dämpfe von sehr hoher Spannkraft 717
229. Abweichungen der Dämpfe vom Mariotte-Gay-Lussac'schen Gesetz . 719
230. Condensation der Dämpfe und Flüssigmachen der Gase 720
231. Verbreitung der Dämpfe in lufterfüllten Räumen 727
232. Abhängigkeit des Siedepunktes vom Drucke 730

Seite
233. Hypsometrische Thermometer 732
234. Sieden des Wassers bei hohem Druck 733
235. Einfluss aufgelöster Substanzen auf den Siedepunkt 737
236. Anomale Variationen des Siedepunktes 741
237. Siedepunkte verschiedener Flüssigkeiten 742
238. Der Leidenfrost'sche Tropfen 743
239. Der sphäroidale Zustand . 745
240. Verdunstung . 746
241. Latente Wärme der Dämpfe 747
242. Genauere Bestimmung der latenten Wärme der Dämpfe 752
243. Latente Wärme des Wasserdampfes bei verschiedenem Drucke . . . 755
244. Erzeugung von Kälte durch Verdampfung 759
245. Eisapparate . 763
246. Die Dampfmaschine . 765
247. Niederdruckmaschinen . 772
248. Berechnung des Effects der Dampfmaschinen 775

Drittes Capitel.

Specifische Wärme der Körper.

249. Begriff der specifischen Wärme 778
250. Methode des Erkaltens . 779
251. Die Methode des Eisschmelzens 781
252. Mengungsmethode . 782
253. Veränderlichkeit der specifischen Wärme 788
254. Relation zwischen specifischer Wärme und Atomgewicht 790
255. Specifische Wärme zusammengesetzter Körper 792
256. Specifische Wärme der Gase 797
257. Wärmecapacität der Gase bei constantem Volumen 805

Viertes Capitel.

Fortpflanzung der Wärme.

258. Existenz der strahlenden Wärme 811
259. Wärmestrahlungsvermögen der Körper 816
260. Verhalten der Körper gegen Wärmestrahlen 817
261. Fähigkeit der Körper, Wärmestrahlen durchzulassen 819
262. Einfluss der Dicke diathermaner Platten auf die Durchlassung der Wärmestrahlen . 823
263. Brechung der Wärmestrahlen 825
264. Das Wärmespectrum . 827
265. Thermochrose . 831
266. Diathermanität der Gase . 833
267. Calorescenz . 839
268. Ungleichheit des Absorptions- und Diffusionsvermögens für die Strahlen verschiedener Wärmequellen 839
269. Das thermische Strahlungsvermögen der Gase 846
270. Polarisation der Wärmestrahlen 848
271. Interferenz der Wärmestrahlen 850
272. Gesetze des Erkaltens . 851

Seite
273. Verbreitung der Wärme durch Leitung 853
274. Das Wärmeleitungsvermögen 855
275. Wärmeleitung in krystallisirten Körpern 860
276. Wärmeleitungsfähigkeit der Flüssigkeiten und Gase 861

Fünftes Capitel.

Quellen der Wärme und die mechanische Wärmetheorie.

277. Verbrennungswärme . 866
278. Verbrennungswärme der Kohlenwasserstoff-Verbindungen 870
279. Thierische Wärme . 871
280. Wärmeentwickelung bei Bildung von Chlorverbindungen 874
281. Verbindungswärme von Basen mit Säuren 875
282. Wärmeabsorption durch Auflösung von Salzen 878
283. Hydration der Schwefelsäure 878
284. Wärmeentwickelung bei der Absorption von Gasen in Wasser . . . 879
285. Indirecte Bestimmung der Verbrennungswärme der Metalle 880
286. Wärmeentwickelung von Chlor-, Brom-, Jod- und Schwefelverbindungen . 881
287. Bestimmung der Verbrennungswärme durch Elektrolyse 882
288. Calorische Aequivalente . 884
289. Wärmeentwickelung durch mechanische Mittel 886
290. Das Wesen der Wärme . 888
291. Das mechanische Aequivalent der Wärme 892
292. Aequivalenz von Wärme und Arbeit 898
293. Verschwinden von Wärme durch Arbeitsleistung 901
294. Elemente der mechanischen Wärmetheorie 908
295. Anwendung der mechanischen Wärmetheorie auf Wasserdämpfe . . 912
296. Verhalten des gesättigten Wasserdampfes bei der Expansion 921
297. Das Schmelzen des Eises . 924
298. Die specifische Wärme im Sinne der mechanischen Wärmetheorie . 930
299. Die thermische Molekularbewegung 935

Sechstes Buch.

Meteorologie.

Erstes Capitel.

Vertheilung der Wärme auf der Erdoberfläche.

300. Die Erwärmung der Erdoberfläche durch die Sonnenstrahlen . . . 939
301. Die fünf Zonen . 940
302. Die täglichen Variationen der Lufttemperatur 940
303. Die Jahreszeiten . 941
304. Modificationen normaler Temperaturverhältnisse 944
305. Mittlere Temperatur der Tage, der Monate und des Jahres 945
306. Jahresisothermen . 946
307. Isotheren und Isochimenen 949
308. Land- und Seeklima . 951

Seite
309. Ursachen der Biegung der Isothermen 952
310. Temperatur des Bodens . 954
311. Abnahme der Temperatur in den höheren Luftregionen 955

Zweites Capitel.

Die Atmosphäre, ihr Druck und ihre Strömungen.

312. Die Lufthülle der Erde . 957
313. Variationen des Barometerstandes 959
314. Ursachen der Barometerschwankungen 959
315. Entstehung der Winde . 961
316. Passatwinde und Moussons . 962
317. Winde in höheren Breiten . 965
318. Gesetz der Winddrehung . 966
319. Stürme . 968

Drittes Capitel.

Von der atmosphärischen Feuchtigkeit.

320. Verbreitung des Wasserdampfes in der Luft 970
321. Tägliche und jährliche Variationen im Wassergehalte der Luft . . . 973
322. Feuchtigkeit der Luft in verschiedenen Gegenden 974
323. Der Thau . 974
324. Nebel und Wolken . 975
325. Regenmenge . 978
326. Regen zwischen den Wendekreisen 980
327. Schnee und Hagel . 981

Viertes Capitel.

Optische Erscheinungen der Atmosphäre.

328. Farbe des Himmels . 984
329. Der Regenbogen . 985
330. Höfe und Nebensonnen . 987
331. Irrlichter . 989
332. Sternschnuppen, Feuerkugeln und Meteorsteine 990

Fünftes Capitel.

Von der atmosphärischen Elektricität und dem Erdmagnetismus.

333. Atmosphärische Elektricität 992
334. Elektricität während der Gewitter 993
335. Wirkungen des Blitzes auf der Erde 994
336. Die Blitzableiter . 995
337. Die magnetischen Curven . 997
338. Das Nordlicht . 1000

VIERTES BUCH.

DIE ELEKTRISCHEN ERSCHEINUNGEN.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Erstes Capitel.

Vom Magnetismus.

Anziehung des Eisens durch Magnete. Unter den verschiedenen Eisenerzen giebt es eines, welches, aus gleichen Aequivalenten Eisenoxyd und Eisenoxydul zusammengesetzt, mit dem Namen Magneteisen oder Magneteisenstein bezeichnet wird. Hier und da findet man Stücke dieses Magneteisensteines, welche die Eigenschaft haben, Eisen anzuziehen, was man ganz einfach daran erkennt, dass Eisenfeile oder selbst kleinere Eisenstücke, wie z. B. Drahtstifte, an ihnen hängen bleiben. 1

Schon den Alten war diese Erscheinung bekannt, und sie nannten solche, Eisen anziehende Steine Magnete, weil sie diese auffallende Eigenschaft zuerst an Eisenerzen wahrgenommen hatten, welche in der Nähe der Stadt Magnesia gefunden wurden.

Solche Stücke Eisenerz, welche von Natur die Eigenschaft haben, Eisen anzuziehen, nennt man natürliche Magnete; allein nicht jedes Stück Eisenerz der oben angegebenen Zusammensetzung ist von Natur magnetisch; ja das Magneteisen ist nur ausnahmsweise von Natur magnetisch, wohl aber kann man es fast durchgängig durch verschiedene Methoden, welche später näher beschrieben werden sollen, magnetisch machen.

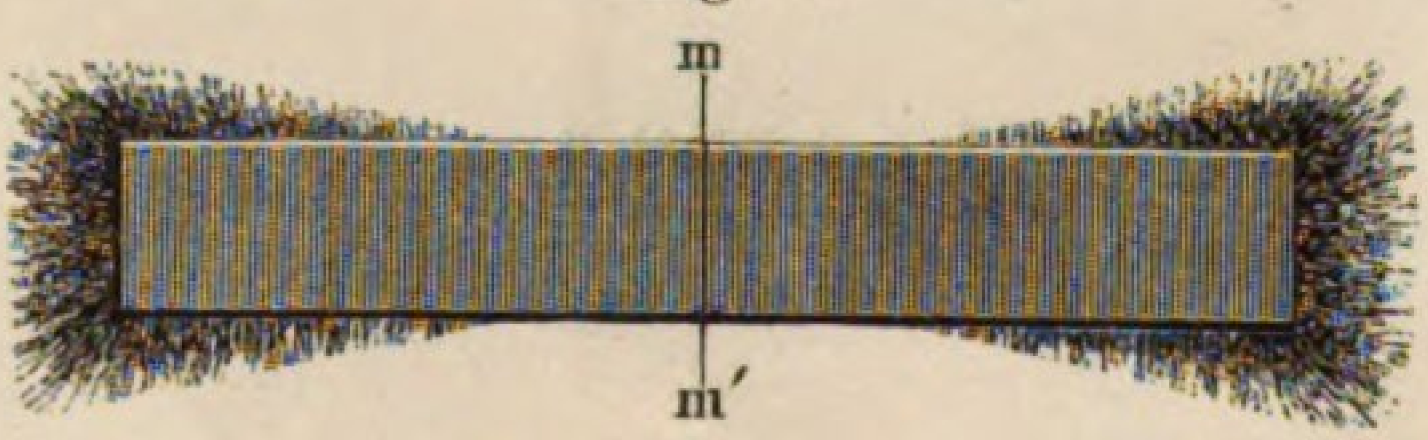
Ebenso wie den Magneteisenstein kann man auch den Stahl bleibend magnetisch machen, was den grossen Vortheil gewährt, dass man solche künstliche Magnete von beliebiger Gestalt herstellen kann, wie es eben für die verschiedenen Versuche am vortheilhaftesten ist.

Auf den ersten Anblick scheint es, als ob ein Magnet das Eisen in ähnlicher Weise anzöge, wie die Erde jeden schweren Körper anzieht. Dies ist aber nicht der Fall; die Schwerkraft wirkt auf allen Punkten der Erdoberfläche nahezu gleich stark, an jedem Magnet dagegen finden

sich zwei Stellen, für welche die Anziehung ein Maximum ist, während zwischen denselben eine andere Stelle gefunden wird, welche gar keine anziehende Wirkung auf Eisen zeigt.

Um dies zu zeigen, wälze man einen Magnet in Eisenfeilspänen herum; beim Herausnehmen wird man dann sehen, wie diese an einzelnen Stellen hängen bleiben und an anderen abfallen; bei natürlichen Magneten zeigt sich diese Erscheinung wegen der meist unregelmässigen Gestalt derselben weniger deutlich als bei künstlichen, denen man zu diesem Zweck am besten die Gestalt eines Stabes giebt. An einem regelmässig magnetisirten Stahlstab bleibt die Eisenfeile vorzugsweise an den beiden Enden hängen, wie dies Fig. 1 darstellt, während sie in der Mitte ganz abfällt. Die beiden Enden des Magnets, von welchen das Eisen am kräftigsten angezogen wird, heissen die magnetischen Pole; diejenige rings um den Magnetstab herumlaufende Linie aber, in welcher man keine magnetische Wirkung beobachtet, wird die Mittellinie genannt.

Fig. 1.



Sehr schön zeigt sich die stärkere magnetische Wirkung der Pole auch, wenn man einen Magnetstab mit einem Papierblatt bedeckt und Eisenfeile darauf siebt.

2 **Magnetische Polarität.** Die beiden Pole eines Magnets sind keineswegs von gleicher Natur, sondern sie zeigen ein durchaus entgegengesetztes Verhalten gegen einen und denselben Pol eines zweiten Magnets. Um sich davon zu überzeugen, hänge man nur einen Magnetstab so auf, dass seine Längenaxe eine horizontale Linie bildet und er sich in horizontaler Ebene frei drehen kann, wie dies z. B. bei dem Magnet Fig. 2 der Fall ist, welcher, in einer Hülse von Papier oder Metall liegend, an einem ungedrehten Faden aufgehängt ist. Noch bequemer zu diesen Versuchen sind Magnetnadeln, welche gewöhnlich die Gestalt einer lang gestreckten Raute haben und in der Mitte mit einem Hütchen von Stahl oder Achat versehen sind, welches auf eine Stahlspitze aufgesetzt wird, wie man Fig. 3 sieht.

Eine dritte, in manchen Fällen sehr zweckmässige Art, eine Magnetnadel in horizontaler Ebene leicht drehbar aufzuhängen, ist in den Figuren 4 und 5 dargestellt. Die Mitte der Nadel ist durchbrochen und hier eine etwas lange Messinghülse angesetzt, welche oben durch eine nach unten mit einer Stahlspitze endigenden Schraube verschlossen ist. Diese Spitze, welche den Aufhängepunkt der ganzen Vorrichtung bildet, spielt, wie man Fig. 5 deutlicher sieht, auf einem Achatplättchen, welches auf dem Gipfel des Messingsäulchens *m* eingelassen ist.

Nähert man nun einen und denselben Pol eines Magnetstabes,

den wir mit A bezeichnen wollen, zuerst dem Pole n der Nadel, Fig. 2, 3 oder 4, dann dem Pole s, so sieht man, wie der eine dieser Pole angezogen, der andere aber abgestossen wird, die beiden Pole n und s der Magnetnadel zeigen also ein entgegengesetztes Verhalten gegen den genäherten Pol A des Magnetstabes.

Fig. 2.

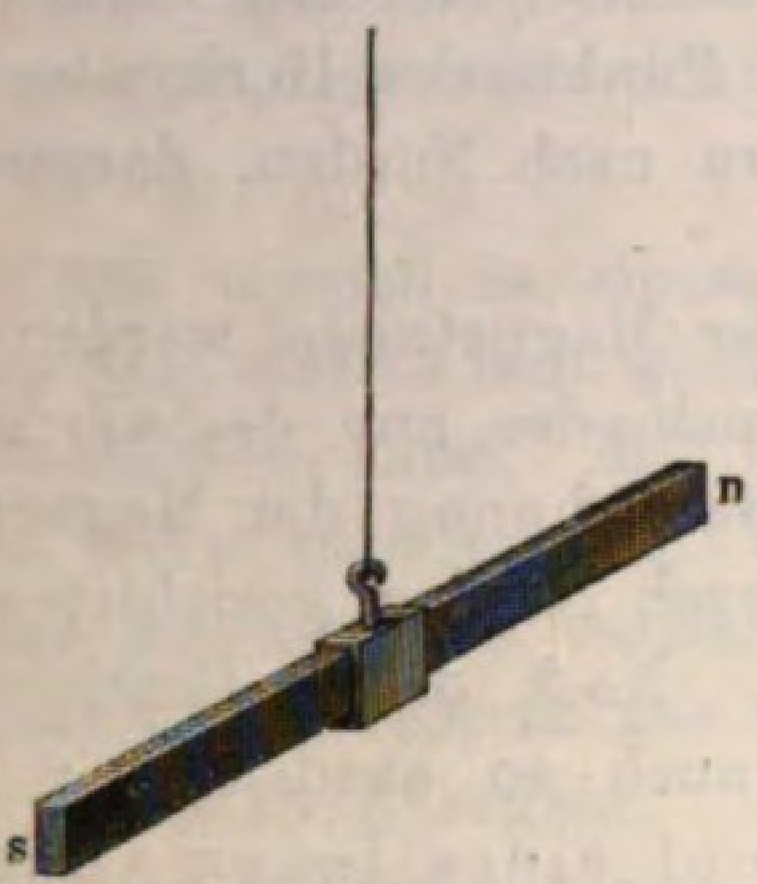
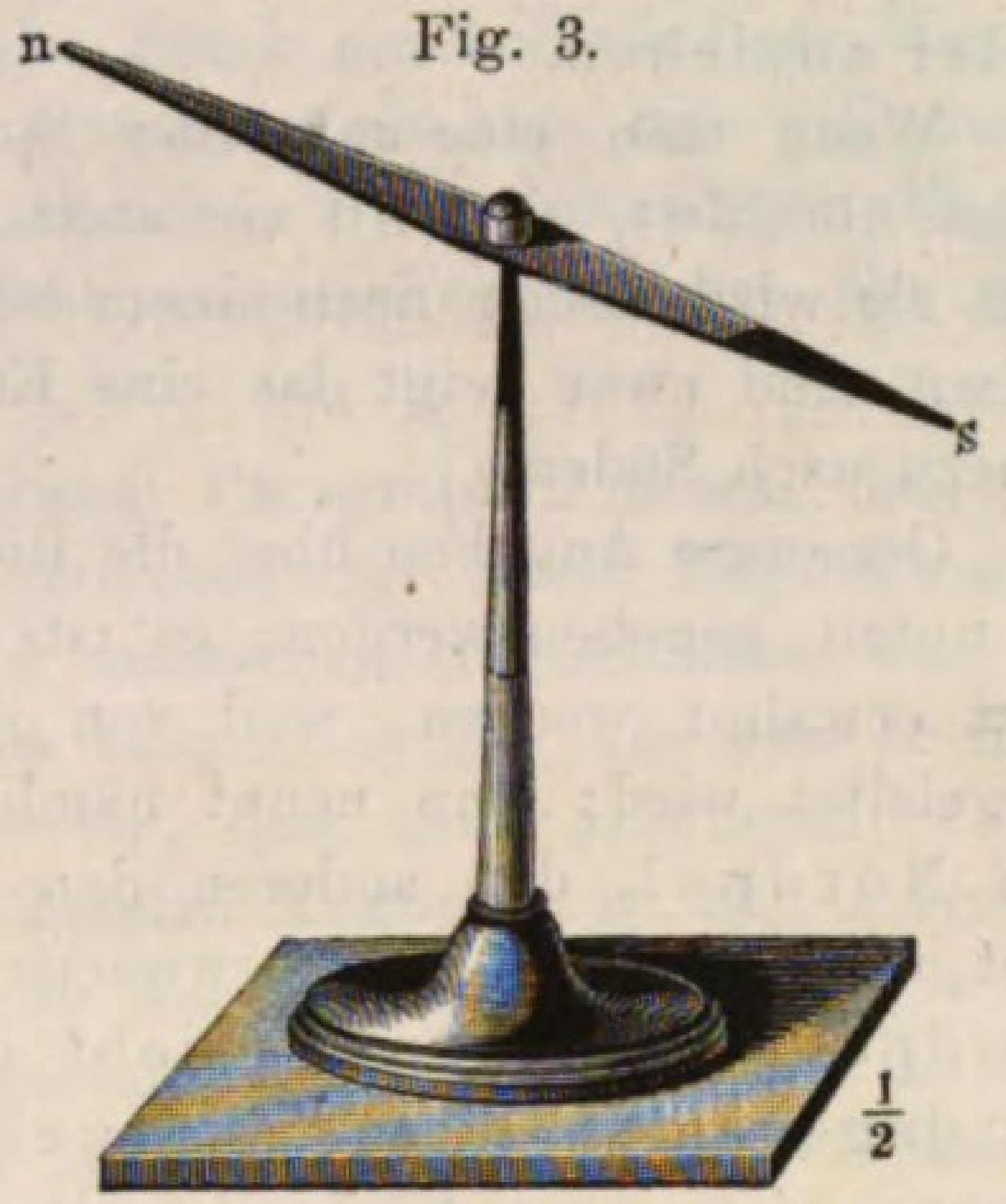


Fig. 3.



Um zu untersuchen, wie die gleichnamigen Pole zweier Magnete, d. h. diejenigen Pole, welche gegen einen und denselben Pol A eines dritten Magnets gleiches Verhalten zeigen, sich gegen einander verhalten, stelle man zwei Magnetnadeln von der in Fig. 3 dargestellten Art einige Fuss von einander entfernt auf, damit ihre gegenseitige Einwirkung nicht

Fig. 4.

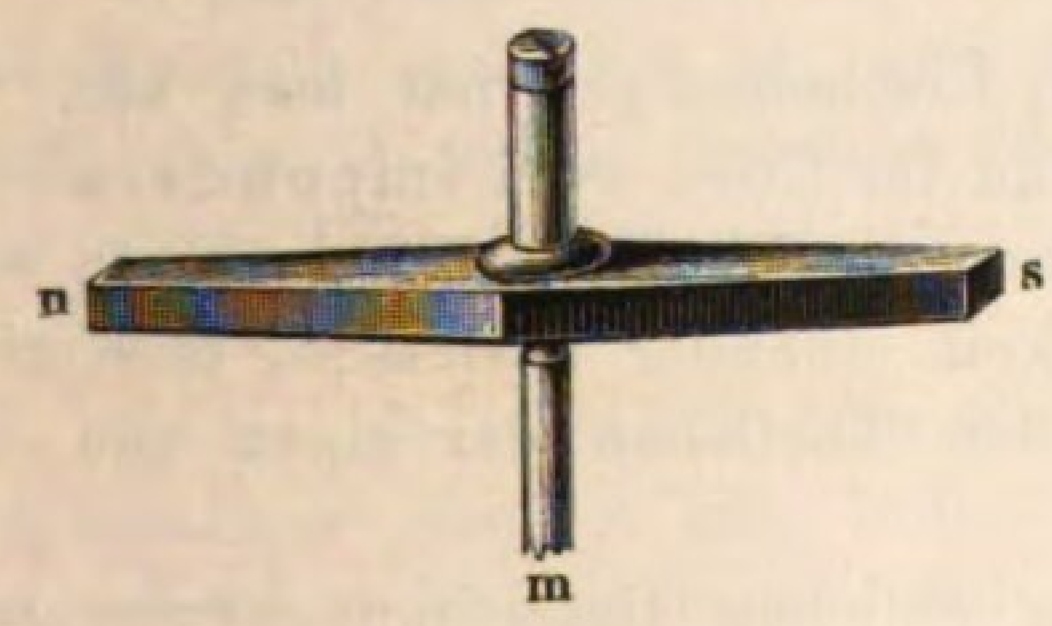
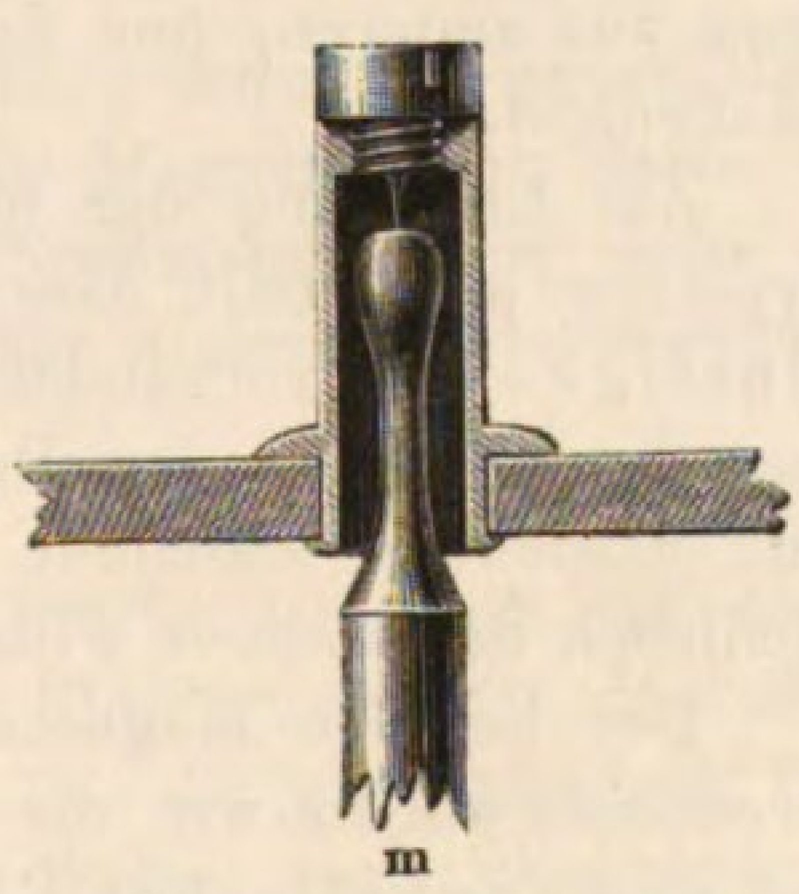


Fig. 5.



störend wirke, bestimme an jeder dieser beiden Nadeln denjenigen Pol, welcher durch denselben Pol A eines genäherten Magnetstabes angezogen wird, und bezeichne die auf diese Weise als gleichartig (gleichnamig) erkannten Pole auf irgend eine Weise, etwa durch einen Punkt von rother Farbe.

Wenn man nun den Magnetstab entfernt, die eine Nadel von ihrer Spitze abhebt und ihren gezeichneten Pol dem gezeichneten Pol der an-

deren, noch auf ihrer Spitze spielenden Nadel nähert, so zeigt sich, dass die beiden gezeichneten Pole einander abstossen; dagegen wird man finden, dass der gezeichnete Pol der einen Nadel den ungezeichneten der anderen anzieht, und so ergiebt sich das wichtige Gesetz, dass gleichnamige Pole sich abstossen, ungleichnamige Pole aber einander anziehen.

Wenn man eine auf einer Spitze frei spielende Magnetnadel sich selbst überlässt, so wird sie stets eine bestimmte Stellung einnehmen, d. h. sie wird immer nach einem bestimmten Punkte des Horizontes hinweisen, und zwar zeigt das eine Ende nahezu nach Norden, das andere nahezu nach Süden.

Genauere Angaben über die Richtung der Magnetnadel werden weiter unten gegeben werden; es ist dieses Umstandes nur deshalb schon jetzt erwähnt worden, weil von ihm die Bezeichnung der Magnetpole hergeleitet wird; man nennt nämlich den nach Norden gerichteten Pol den Nordpol, den anderen den Südpol. Nach dieser Bezeichnung lässt sich das oben nachgewiesene Gesetz auch so ausdrücken: Der Nordpol eines Magnets zieht den Südpol eines jeden anderen an, dagegen stossen sich zwei Nordpole gegenseitig ab, und ebenso üben zwei Südpole eine abstossende Wirkung auf einander aus.

3 **Magnetische Fluida.** In den beiden Hälften, in welche ein Magnet durch die Mittellinie getheilt wird, sind also, den im vorigen Paragraphen besprochenen Erscheinungen zu Folge, zwei entgegengesetzt wirkende Kräfte thätig, und die Mittellinie des Magnets bildet die Grenze dieser beiden antagonistischen Kräfte; sie bildet den Uebergang von der einen zur anderen, und darin eben liegt die Ursache ihrer neutralen Beschaffenheit.

Zur Erklärung der magnetischen Erscheinungen hat man nun die Hypothese aufgestellt, dass im Stahl und im Eisen zwei imponderabele Flüssigkeiten vorhanden seien, denen die Eigenschaft zukommen soll, dass die Theilchen derselben Flüssigkeit einander abstossen, dass aber eine Anziehung stattfinde zwischen den Theilchen der einen und den Theilchen der anderen Flüssigkeit.

Der bei den magnetischen Polen üblichen Bezeichnungsweise entsprechend, wollen wir die beiden Flüssigkeiten als nordmagnetisches und südmagnetisches Fluidum unterscheiden.

Was die Vertheilung der beiden magnetischen Fluida in einem Magnete betrifft, so scheint es auf den ersten Anblick am einfachsten, anzunehmen, dass in der Mittellinie kein magnetisches Fluidum, dass aber von da nach dem einen Pole hin das nordmagnetische, nach dem anderen hin das südmagnetische Fluidum in immer wachsender Dichtigkeit vorhanden sei. Wäre diese Vorstellungsweise richtig, so müsste ein Magnetstab, den man in seiner Mittellinie durchbricht, zwei Stücke liefern, von denen das

eine nur einen Nordpol, das andere nur einen Südpol hat. Der Versuch, welchen man am besten mit einem magnetisirten Stahldraht, etwa mit einer Stricknadel anstellen kann, zeigt aber, dass jede Hälfte eines so durchbrochenen Magnetstabes wieder ein vollständiger Magnet mit zwei Polen und einer Mittellinie ist. Bricht man eine jede dieser Hälften abermals durch, so ist wiederum jedes Stück ein vollständiger Magnet; kurz man mag die Theilung so weit fortsetzen als man nur will, immer ist jedes Stückchen, welches man abbricht, ein vollständiger Magnet, und nie kommt man dahin, ein Stück zu erhalten, welches nur einen Pol hätte.

Wir werden in einem der nächsten Paragraphen sehen, dass man einen Stahlstab durch wiederholtes Streichen mit einem Magnet magnetisch machen kann. Mit einem und demselben Magnet kann man auf diese Weise Hunderte von Stahlstäben magnetisiren, ohne dass er selbst seinen Magnetismus verliert, ein Beweis, dass beim Magnetisiren kein magnetisches Fluidum aus dem streichenden Magneten in den gestrichenen Stahlstab übergeht. Es sind also die magnetischen Fluida in dem Stahlstabe auch schon vor dem Magnetisiren vorhanden, durch die Operation des Magnetisirens aber wird erst diejenige Art der Vertheilung derselben bewirkt, durch welche der Magnetismus des Stabes auch nach Aussen wirksam wird.

Um die oben bezeichneten Thatsachen zu erklären, nimmt man nun an, dass jedes Stahl- oder Eisenmolekül ein- für allemal die beiden magnetischen Fluida in gleicher Menge enthalte, dass aber diese magnetischen Fluida nicht von einem Eisenmolekül zum anderen übergehen können; über die Art und Weise aber, wie dieselben vertheilt sind, können wir uns zweierlei Vorstellungen machen:

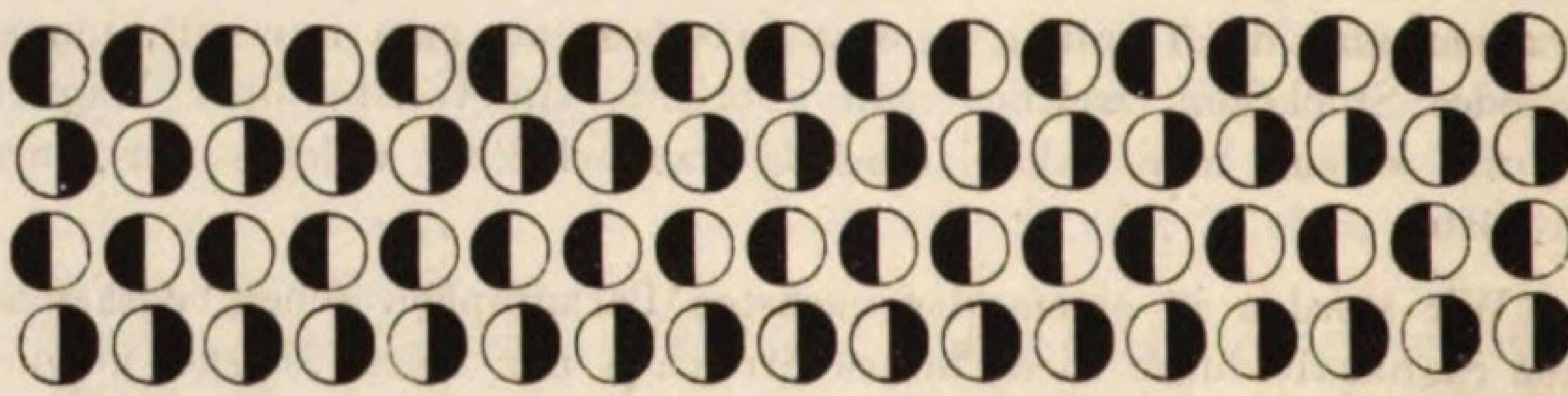
1) dass jedes der beiden Fluida gleichförmig durch die ganze Masse des Moleküls verbreitet ist, und dass also die Magnetisirung darin besteht, dass in jedem einzelnen Molekül der Nordmagnetismus mehr auf der einen, der Südmagnetismus mehr auf der anderen Seite angehäuft wird, oder

2) dass jedes Stahl- oder Eisenmolekül ein- für allemal schon ein vollständiger Magnet ist, indem die eine Hälfte desselben nur nordmagnetisches, die andere nur südmagnetisches Fluidum enthält, dass aber, bevor der Stab magnetisch gemacht worden ist, die gleichnamigen Pole der einzelnen Molekularmagnete in solcher Weise nach verschiedenen Seiten gerichtet sind, dass ihre Wirkungen nach Aussen sich gegenseitig aufheben.

Diese letztere Vorstellungsweise ist diejenige, welche die Thatsache am besten erklärt, dass es für jeden Stahl- oder Eisenstab ein Maximum der Magnetisirung gebe; nach ihr besteht die Magnetisirung eines Stahl- oder Eisenstabes darin, dass die gleichnamigen Pole aller Molekularmagnete mehr und mehr nach derselben Seite hin gerichtet werden.

Die folgenden Figuren mögen dazu dienen, diese Vorstellungsweise anschaulich zu machen. Fig. 6 repräsentirt eine Anordnung der Molekularmagnete, bei welcher keinerlei magnetische Wirkung nach Aussen hin stattfinden kann, welche also dem neutralen Zustande des Stahlstabes

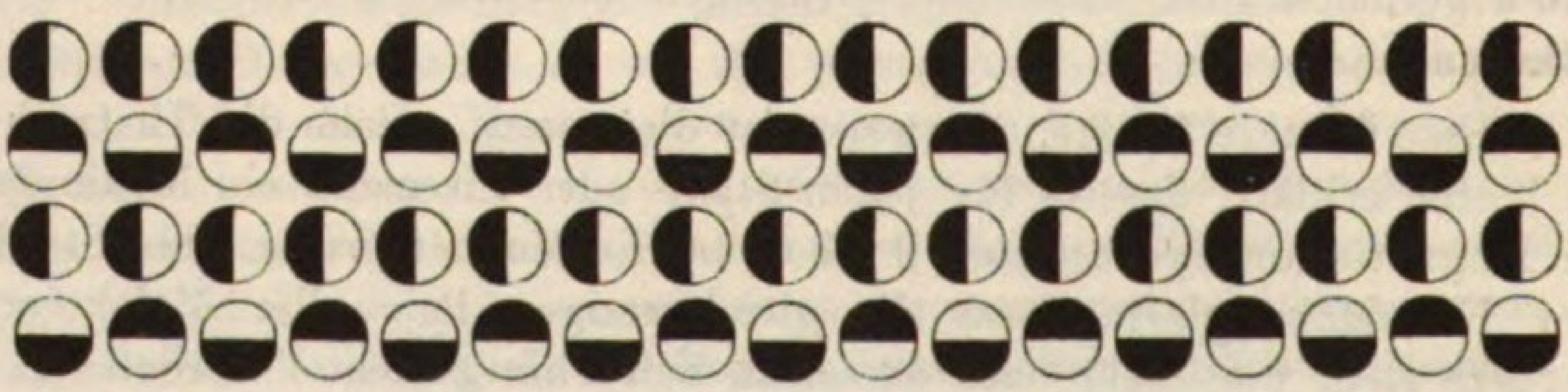
Fig. 6.



entspricht. Wenn durch Schwarz der Nordmagnetismus repräsentirt wird, so ist es klar, dass die oberste Horizontalreihe von Molekülen einen Magnet repräsentiren würde, der seinen Nordpol auf der linken, seinen Südpol aber auf der rechten Seite hat; dasselbe ist bei der dritten Horizontalreihe der Fall; während umgekehrt die zweite und vierte Horizontalreihe von Molekularmagneten einen Magnetstreif bilden, welcher seinen Südpol auf der linken, seinen Nordpol aber auf der rechten Seite hat, und somit ist klar, dass die magnetische Wirkung, welche die oberste und die dritte Horizontalreihe von Molekularmagneten nach Aussen hin hervorzubringen im Stande sind, durch die zweite und vierte Horizontalreihe wieder aufgehoben wird, dass also bei der Fig. 6 dargestellten Anordnung gar keine magnetische Wirkung nach Aussen hin möglich ist.

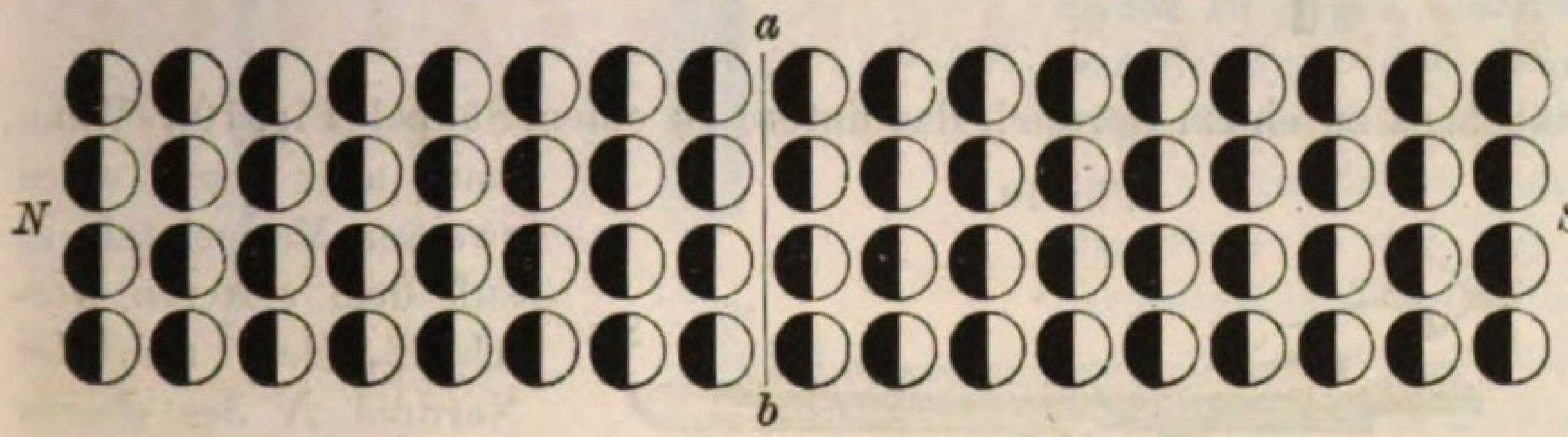
Wenn nun auf den Fig. 6 dargestellten magnetisch neutralen Stahlstab eine magnetisirende Kraft einwirkt, welche auf der linken Seite einen Nordpol, auf der rechten Seite einen Südpol hervorzubringen strebt, so sehen wir, dass die Pole der Molekularmagnete in der ersten und dritten Horizontalreihe bereits nach der Seite gerichtet sind, wie es dieser magnetisirenden Kraft entspricht. In den Molekularmagneten der zweiten und vierten Horizontalreihe aber wirkt die magnetisirende Kraft dahin, die Pole nach der entgegengesetzten Seite ihrer bisherigen Lage zu wenden, und der Magnetismus des Stabes wird um so kräftiger hervortreten, je weiter diese Drehung bereits zu Stande gekommen ist. Wäre die Drehung etwa nur zur Hälfte vollendet, wie es Fig. 7 darstellt, so würde

Fig. 7.



der Stahlstab die Hälfte der magnetischen Kraft erlangt haben, deren er überhaupt fähig ist, denn bei dieser Stellung der Polaritäten ist die zweite und vierte Reihe für sich nach Aussen magnetisch indifferent, es bleibt also die magnetische Wirkung der ersten und dritten Reihe ganz rein übrig. Ist endlich die Drehung der einzelnen Molekularmagnete vollkommen zu Stande gebracht, wie Fig. 8 andeutet, so hat nun der Stahlstab das Maximum des Magnetismus erreicht, dessen er überhaupt fähig ist.

Fig. 8.



Am linken Ende des Fig. 8 dargestellten Magnets ist nur die eine, am rechten Ende ist nur die andere Flüssigkeit vorhanden, wodurch die Polarität des Magnets erklärt wird, während man nach dieser Vorstellungsweise auch begreift, dass, wenn man den Magnet etwa nach der Linie *ab* durchbricht, jedes der beiden Stücke wieder ein vollständiger Magnet sein muss.

Dass nun wirklich solche Fluida existiren, lässt sich freilich nicht beweisen; wir postuliren dieselben nur deshalb, weil eine solche Vorstellungsweise es möglich macht, uns ein Bild von den Vorgängen der Magnetisirung zu entwerfen und die verschiedenen magnetischen Erscheinungen unter einem gemeinschaftlichen Gesichtspunkte zu vereinigen. Weiter unten werden wir noch eine andere Erklärungsweise der magnetischen Phänomene kennen lernen, nach welcher sich alle magnetischen Wirkungen auf die gegenseitige Einwirkung elektrischer Ströme zurückführen lassen, wodurch auch der Magnetismus in den Kreis der elektrischen Erscheinungen gezogen wird.

Verhalten des Eisens und des Stahls gegen Magnete. 4

Die Anziehung des Eisens durch einen Magnet ist nur die Folge davon, dass das Eisen unter dem Einfluss des Magnets selbst magnetisch wird, dass also ein Magnetpol in einem ihm genäherten Eisenstück eine magnetische Vertheilung der Art bewirkt, wie wir sie im vorigen Paragraphen kennen lernten; da aber ein an einem Magnetpol anhängendes Eisenstäbchen selbst ein Magnet wird, so kann es ein zweites, dieses ein drittes u. s. w. tragen, und so kann man an einen Magnetpol eine ganze Kette von Eisenstäbchen anhängen, wie Fig. 9 a. f. S. darstellt.

Diese Vertheilungsweise wird auch durch folgenden Versuch erläu-

tert: man hänge ein Eisenstäbchen an dem einen Pol, etwa dem Südpol eines horizontal gehaltenen Magnetstabes an, so wird das obere Ende des

Fig. 9.



Stäbchens zu einem Nordpol, das untere zu einem Südpol (Fig. 10). Wenn man aber nun einen zweiten Magnetstab so auf dem ersteren vorschiebt, dass sich der Nordpol N des oberen allmälig dem Südpol S des unteren nähert, so wird alsbald das bisher getragene Stück Eisen abfallen, weil der Nordpol N des oberen Magnets in dem Eisenstab gerade die entgegengesetzte magnetische Vertheilung hervorzurufen strebt, wie der Südpol S des unteren.

Fig. 10.



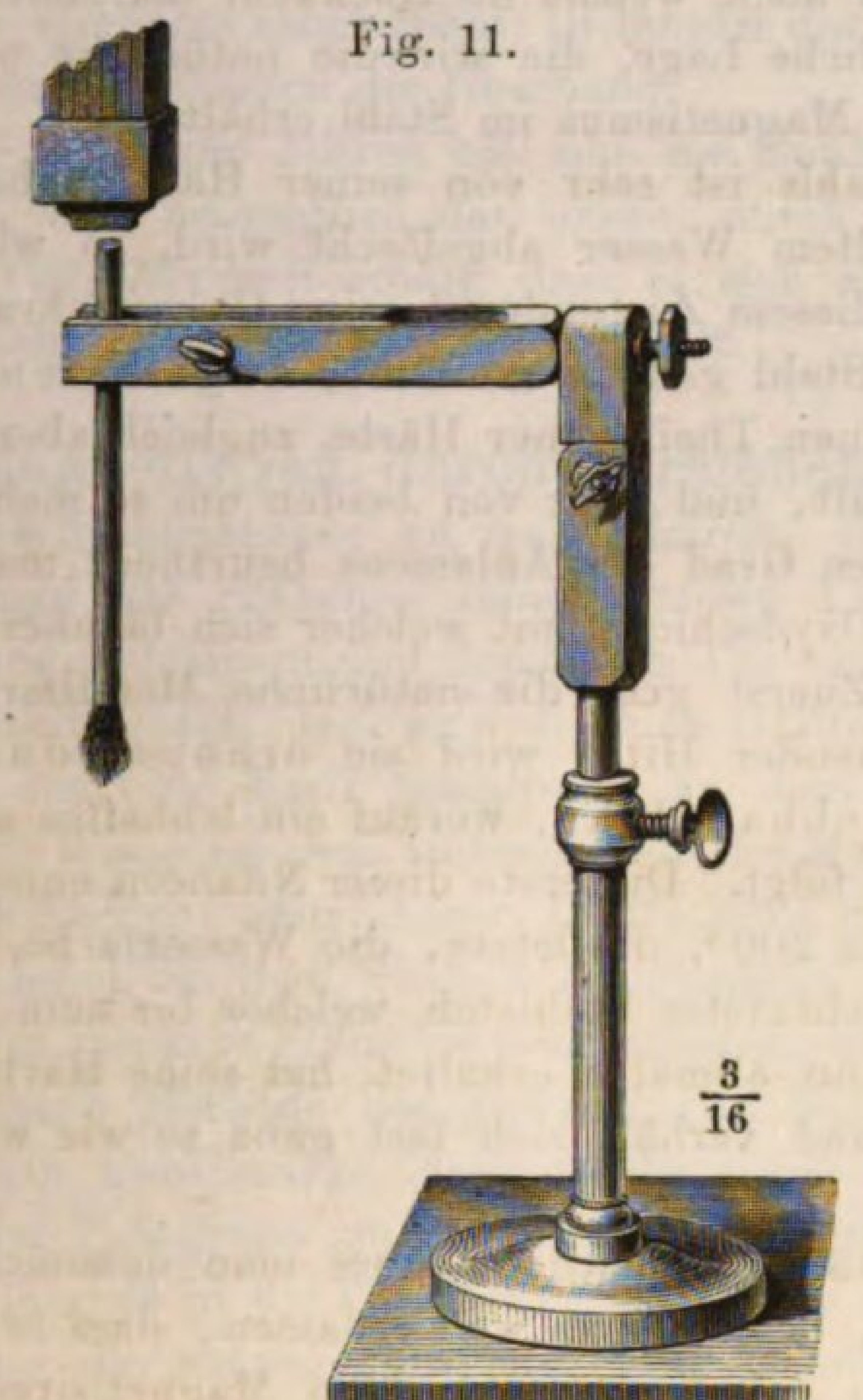
Das Verhalten des weichen Eisens gegen einen Magnet lässt sich am einfachsten durch folgenden Versuch prüfen. Ein Eisenstäbchen von ungefähr 15 Centimeter Länge und 6 bis 8 Millimeter Durchmesser werde in ein entsprechendes Stativ (Fig. 11) so eingespannt, dass es in verticaler Richtung festgehalten wird. Hält man nun über das obere Ende den einen Pol eines kräftigen Magnetstabes, während man das untere Ende in ein Schälchen mit Eisenfeile oder kleinen Drahtstiften eintaucht, so bleibt nach der Entfernung des Schälchens ein ganzes Büschel hängen, woraus hervorgeht, dass der Eisenstab unter dem Einfluss des Magnets selbst magnetisch geworden ist; entfernt man aber ganz allmälig den über das Stäbchen gehaltenen Magnetstab, so fallen die Drahtstiftchen allmälig ab und es bleibt kaum eines hängen, wenn der Magnet vollständig entfernt ist.

Um diesen Versuch mit Erfolg anzustellen, muss man sich hüten, den Magnetpol in unmittelbare Berührung mit dem oberen Ende des Eisenstabes zu bringen, weil man ihn sonst nicht ohne störende Erschütterung entfernen kann; am leichtesten verhindert man diese Berührung, wenn man zwischen das obere Ende des Eisenstäbchens und den darüber gehaltenen Magnetstab ein Kartenblatt hält.

Der eben beschriebene Vorgang beweist nun klar, dass das weiche Eisen unter dem Einfluss eines Magnets selbst magnetisch wird, dass es

aber diesen Magnetismus sogleich wieder verliert, wenn der Magnetpol, von welchem die vertheilende Wirkung ausging, wieder entfernt wird.

Fig. 11.



Nach der im vorigen Paragraphen entwickelten Hypothese müssen wir uns also einen Eisenstab aus lauter Molekularmagneten zusammengesetzt denken, welche im natürlichen Zustande so gegen einander gestellt sind, dass keine magnetische Wirkung nach Aussen stattfinden kann, also etwa in der Fig. 6 dargestellten Weise. Unter dem Einfluss eines kräftigen Magnets werden aber die Polaritäten der Molekularmagnete so gedreht, dass sie die in Fig. 8 dargestellte gegenseitige Lage oder doch in eine ihr mehr oder weniger genäherte kommen. Sobald aber die magnetisirende Kraft zu wirken aufhört, nimmt die Polarität der Molekularmagnetchen wieder die ursprüngliche Stellung ein, und zwar *in Folge der gegenseitigen Einwirkung, welche die Molekularmagnetchen unter sich auf einander ausüben.*

Wiederholt man den durch Fig. 11 versinnlichten Versuch mit einem *frisch gehärteten Stahlstab*, d. h. mit einem solchen, der glühend gemacht und dann in kaltem Wasser abgelöscht worden ist, so bleibt kaum ein Feilspänchen an dem unteren Ende hängen, der Stahlstab wird also nicht so leicht magnetisch wie ein Eisenstab. Er nimmt den Magnetismus erst an, wenn er längere Zeit mit dem Magnetpol in Berührung bleibt oder noch besser, wenn man ihn mit einem Magnetpole wiederholt bestreicht. Ein so magnetisch gemachter Stahlstab verliert aber seinen Magnetismus nicht mehr, wenn auch der magnetisirende Pol entfernt wird, *der gehärtete Stahl nimmt also einen bleibenden Magnetismus an*, was beim weichen Eisen nicht der Fall ist.

Wollen wir dieses Verhalten des gehärteten Stahls mit der im vorigen Paragraphen entwickelten Hypothese in Uebereinstimmung bringen, so müssen wir annehmen, dass im Stahl eine Kraft vorhanden ist, welche *jeder Drehung* der Polarität in den Molekularmagneten entgegenwirkt.

Diese Kraft, welche man Coërcitivkraft nennt, widersteht der Magnetisirung, sie kann nur durch überwiegende magnetisirende Kräfte überwunden werden; sie ist es aber auch, welche die Rückkehr der Molekularmagnetchen in ihre ursprüngliche Lage, die wir die natürliche nennen wollen, hindert und somit den Magnetismus im Stahl erhält.

Die Coërcitivkraft des Stahls ist sehr von seiner Härte abhängig. Wenn glühender Stahl in kaltem Wasser abgelöscht wird, so wird er äusserst hart und spröde; in diesem Zustande ist seine Coërcitivkraft am grössten. Wird nun solcher Stahl gelinde erwärmt, angelassen, wie man es nennt, so verliert er einen Theil seiner Härte, zugleich aber auch einen Theil seiner Coërcitivkraft, und zwar von beiden um so mehr, je stärker er erwärmt wird. Den Grad des Anlassens beurtheilt man bekanntlich nach der Farbe der Oxydschicht, mit welcher sich blanker Stahl beim Erwärmen überzieht. Zuerst geht die natürliche Metallfarbe in strohgelb über, bei zunehmender Hitze wird sie orange, dunkelorange, violettroth, dann lebhaft blau, worauf ein lebhaftes grünlich blau, die Wasserfarbe, folgt. Die erste dieser Nüancen entspricht ungefähr einer Temperatur von 200°, die letzte, die Wasserfarbe, einer Temperatur von 450°. Ein gehärteter Stahlstab, welcher bis zum Rothglühen erwärmt wird und dann allmälig erkaltet, hat seine Härte und seine Coërcitivkraft verloren und verhält sich fast ganz so wie weiches Eisen.

Um sehr starke Magnetstäbe zu machen, muss man demnach den Stahl möglichst hart nehmen, d. h. nur so weit anlassen, dass er nicht allzu spröde ist. In früheren Zeiten, wo man zum Magnetisiren nur Stahlmagnete anwandte, hatte das Magnetisiren harter Stahlstäbe grosse Schwierigkeiten, weil die verhältnissmässig schwachen magnetisirenden Kräfte, die man anwenden konnte, nicht hinreichten, die starke Coërcitivkraft hinlänglich zu überwinden, um eine bedeutende magnetische Vertheilung im Stahlstab zu bewirken; deshalb wählte man früher für Stahlmagnete stärker angelassene Stahlstäbe, und zwar meistens bis zum Blau (wie die Uhrfedern) angelassene.

Jetzt liefert uns der Elektromagnetismus Mittel, selbst die härtesten Stahlstäbe bis zu ihrer Sättigung zu magnetisiren. Die Schwierigkeit, welche bei der Darstellung sehr kräftiger Magnete zu überwinden ist, liegt also gegenwärtig nur noch in der Stahlbereitung, keineswegs in der Magnetisirungsmethode.

Das magnetische Verhalten des Magneteisensteins ist fast ganz dasselbe, wie das des gehärteten Stahls, d. h. er ist fähig, bleibenden Magnetismus anzunehmen, aber nur einzelne Exemplare gewisser Fundorte sind schon von Natur polarmagnetisch. Das in Octaëdern krystallisirte Magneteisen von Pfitsch in Tyrol fand Greiss frei von Coërcitivkraft (Pogg. Annal. XCVIII.), so dass also das Verhalten solcher Octaëder ganz mit dem des ausgeglühten Stahls und des weichen Eisens übereinstimmt.

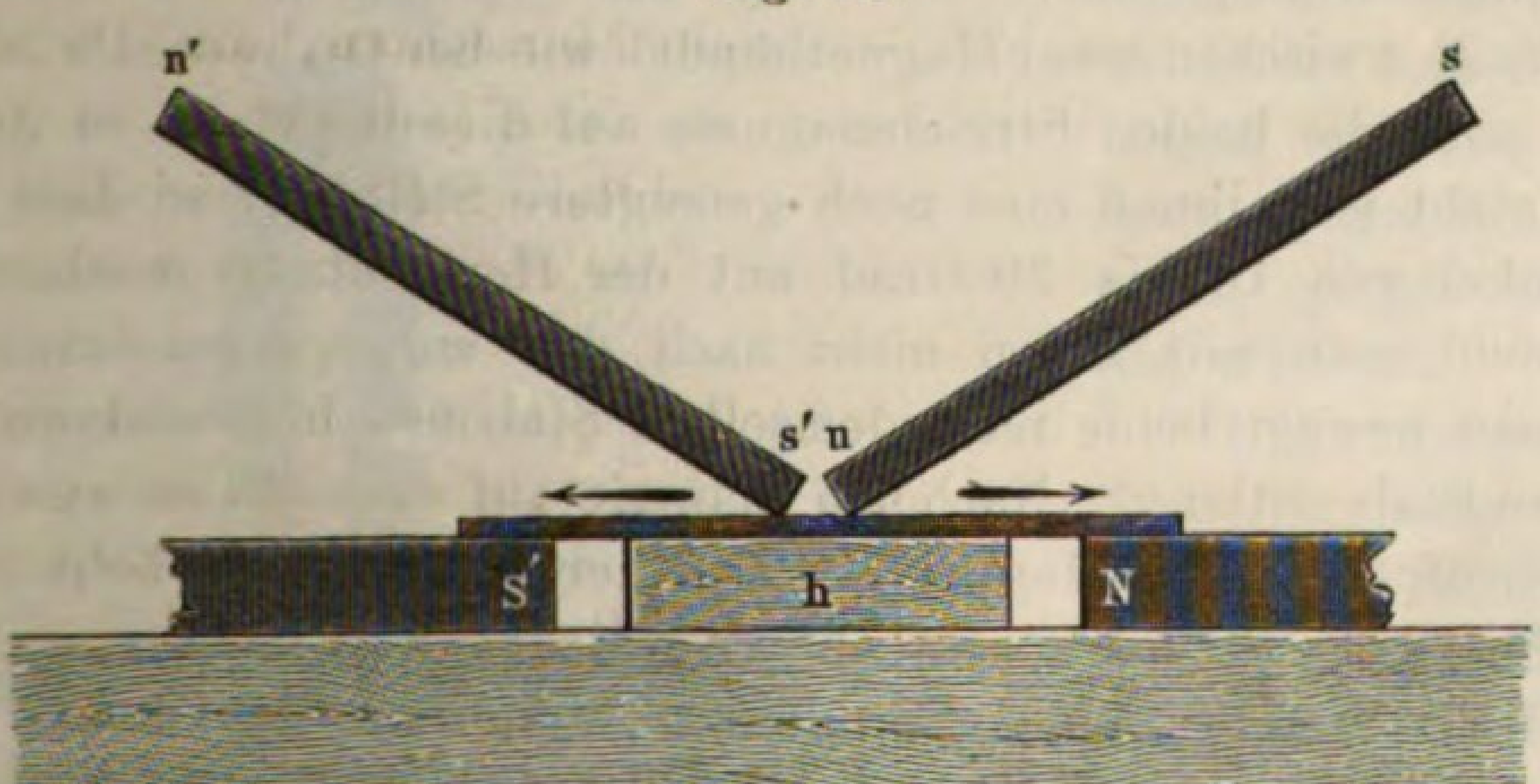
Elias hat gefunden, dass bei gleichem Gewichte ein kurzes und dickes Stück Magneteisenstein einen stärkeren Magnetismus annimmt, als ein ähnliches Stück Stahl; in langen und dünnen Stücken dagegen hat letzterer entschieden die Oberhand.

Vor einigen Jahren hat man die Entdeckung gemacht, dass Gusseisen, und namentlich das graue, durch Härten gleichfalls eine bedeutende Coërcitivkraft erhält, dass es sich also gleichfalls zur Darstellung künstlicher Magnete verwenden lässt.

Magnetisiren durch Streichen mit Magnetpolen. Um 5
dünnere Stahlstäbchen zu magnetisiren, verfährt man ganz einfach so, dass man das Stäbchen seiner ganzen Länge nach stets in derselben Richtung mit einem und demselben Pol eines kräftigen Magnets streicht, oder noch besser, dass man die eine Hälfte des Stäbchens von der Mitte gegen das eine Ende hinfahrend an dem einen, die andere Hälfte in gleicher Weise an dem anderen Pole des Magnets streicht. Das Ende der an dem Nordpol gestrichenen Hälfte wird natürlich ein Südpol, das Ende der anderen, an dem Südpole gestrichenen Hälfte wird ein Nordpol.

Um stärkere Stäbe zu magnetisiren, wendet man die von Duhamel angegebene Methode des getrennten Striches an, sie besteht darin, dass man zwei starke Magnetstäbe (oder Magnetbündel von der im nächsten Paragraph zu beschreibenden Art) so legt, dass die Axe des einen Bündels in die Verlängerung der Axe des anderen zu liegen kommt, und dass die entgegengesetzten Pole einander zugekehrt sind, wie man Fig. 12 sieht, wo N den Nordpol des einen, S' den Südpol des anderen

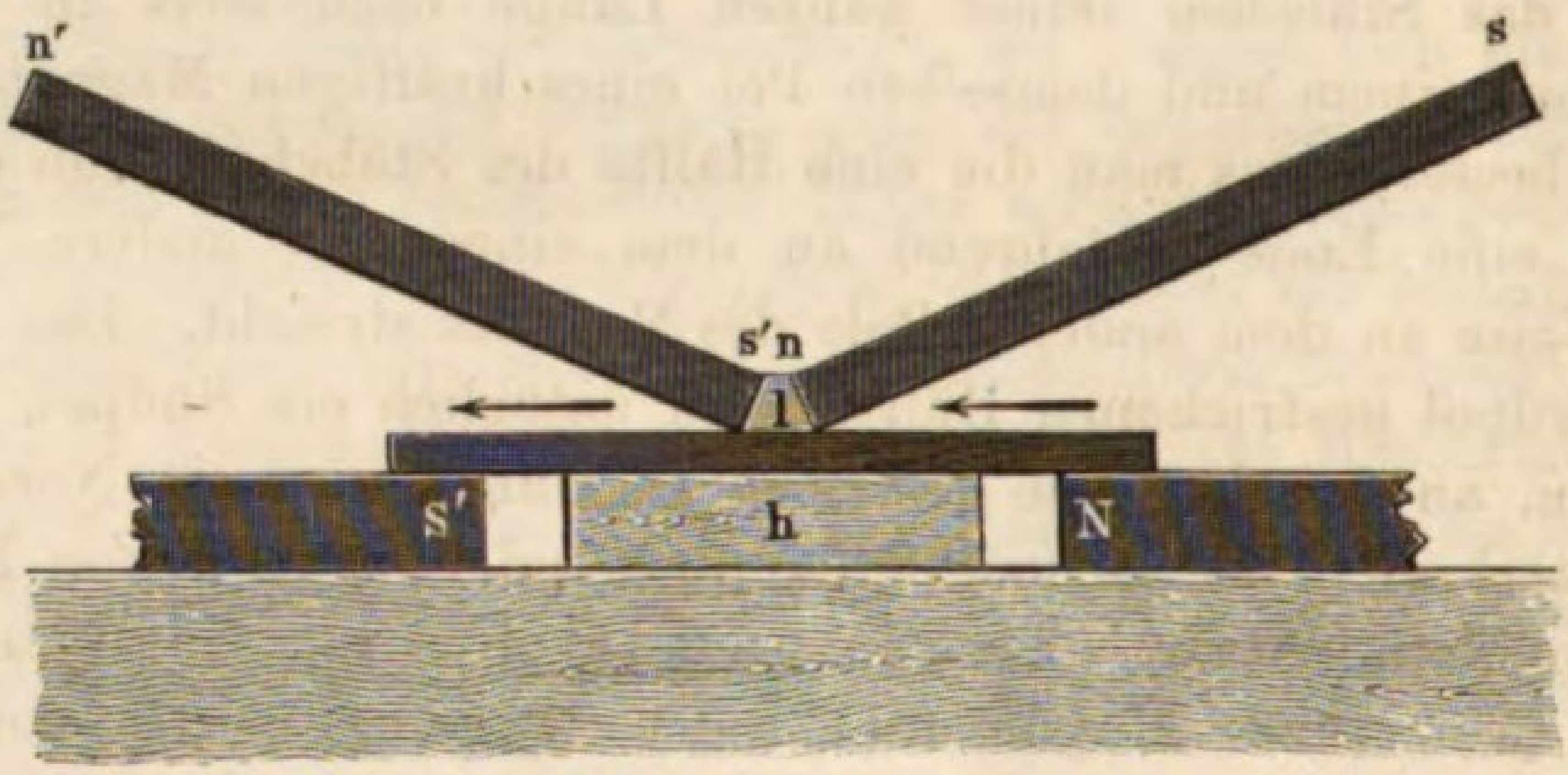
Fig. 12.



Stabes darstellt. Das zu magnetisirende Stäbchen legt man nun so, wie man in der Fig. 12 sieht, und unterstützt es in der Mitte noch durch ein Holzstück h, auf welchem man es auch noch befestigen kann, damit keine Verrückung möglich ist. Nun nimmt man die beiden Streichmagnete ns und $n's'$, den einen in die rechte, den anderen in die linke Hand, setzt sie 25 bis 30 Grad gegen die Horizontale geneigt in der

Mitte des zu magnetisirenden Stabes auf, streicht alsdann mit langsamer regelmässiger Bewegung von der Mitte aus gegen die Enden, so dass die Magnetstäbe ns und $n's'$ gleichzeitig an den entgegengesetzten Enden des zu magnetisirenden Stäbchens ankommen; hier hebt man sie ab, setzt wieder in der Mitte auf und wiederholt dann dasselbe Verfahren mehrere Mal. Es versteht sich von selbst, dass die Streichmagnete so auf die Nadel aufgesetzt werden müssen, dass n gegen N und s' gegen S' hingeführt wird. Diese Methode ist besonders geeignet, um Magnetnadeln für Bussolen oder Stahlstäbe, welche nicht mehr als 4 bis 5 Millimeter dick sind, regelmässig und vollständig zu magnetisiren.

Fig. 13.



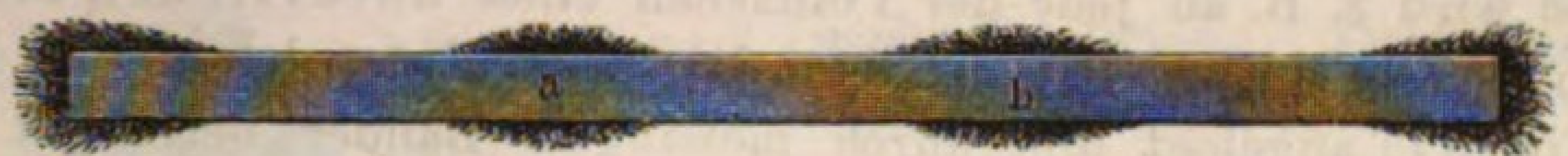
Für Stäbe, welche mehr als 4 bis 5 Millimeter dick sind, ist die Methode unzureichend, und man wendet in solchen Fällen die von Aepinus herrührende Methode des Doppelstriches an. Der Doppelstrich wird folgendermaassen ausgeführt. Man legt den zu magnetisirenden Stab auf dieselbe Weise zwischen zwei Magnetbündel wie bei Duhamel's Methode, und setzt auch die beiden Streichmagnete auf dieselbe Weise in der Mitte auf, nur giebt man ihnen eine noch geneigtere Stellung, so dass sie nur einen Winkel von 15 bis 20 Grad mit der Horizontalen machen. Alsdann streicht man mit ihnen nicht nach den entgegengesetzten Polen, sondern man bewegt beide nach demselben Stabende hin, alsdann zurück den ganzen Stab entlang. Nachdem man sie auf diese Weise zusammen hinlänglich oft über den Magnet hin und her geführt hat, hebt man sie von der Mitte des Stabes wieder ab. Auf jeden Fall muss zwischen den unteren Enden der Streichmagnete ein Zwischenraum von 5 bis 6 Millimetern sein, den man am besten durch ein Stückchen Holz, Messing oder Blei sichert, welches in unserer Figur durch l bezeichnet ist.

Der Doppelstrich giebt einen starken Magnetismus; er darf aber zum Magnetisiren von Nadeln für Bussolen und Stäbe, welche zu genauen Untersuchungen dienen sollen, nicht angewendet werden, weil er fast immer ungleich starke Pole giebt und leicht Folgepunkte veranlasst.

Mit dem Namen der Folgepunkte bezeichnet man nämlich magnetische Pole, welche nicht am Ende eines magnetisirten Stabes, sondern

an beliebigen Zwischenpunkten sich zeigen und welche stets die Folge einer unregelmässigen Magnetisirung sind; sie treten nämlich dann auf, wenn einzelne Stücke der Längenausdehnung des Stabes in entgegengesetzter Richtung magnetisirt sind, und zeigen dann stets die Stellen, an welchen ein Polaritätswechsel stattfindet. Man kann solche Folgepunkte am einfachsten dadurch erkennen, dass man den Stab in Eisenfeile wälzt, wobei dann an allen Folgepunkten stärkere Büschel hängen bleiben, oder auch dadurch, dass man ein starkes Papierblatt auf den Magnetstab legt und Eisenfeile darauf siebt, wobei dann ein mit Folgepunkten versehener Magnetstab eine der in Fig. 14 abgebildeten ähnliche Anordnung giebt.

Fig. 14.

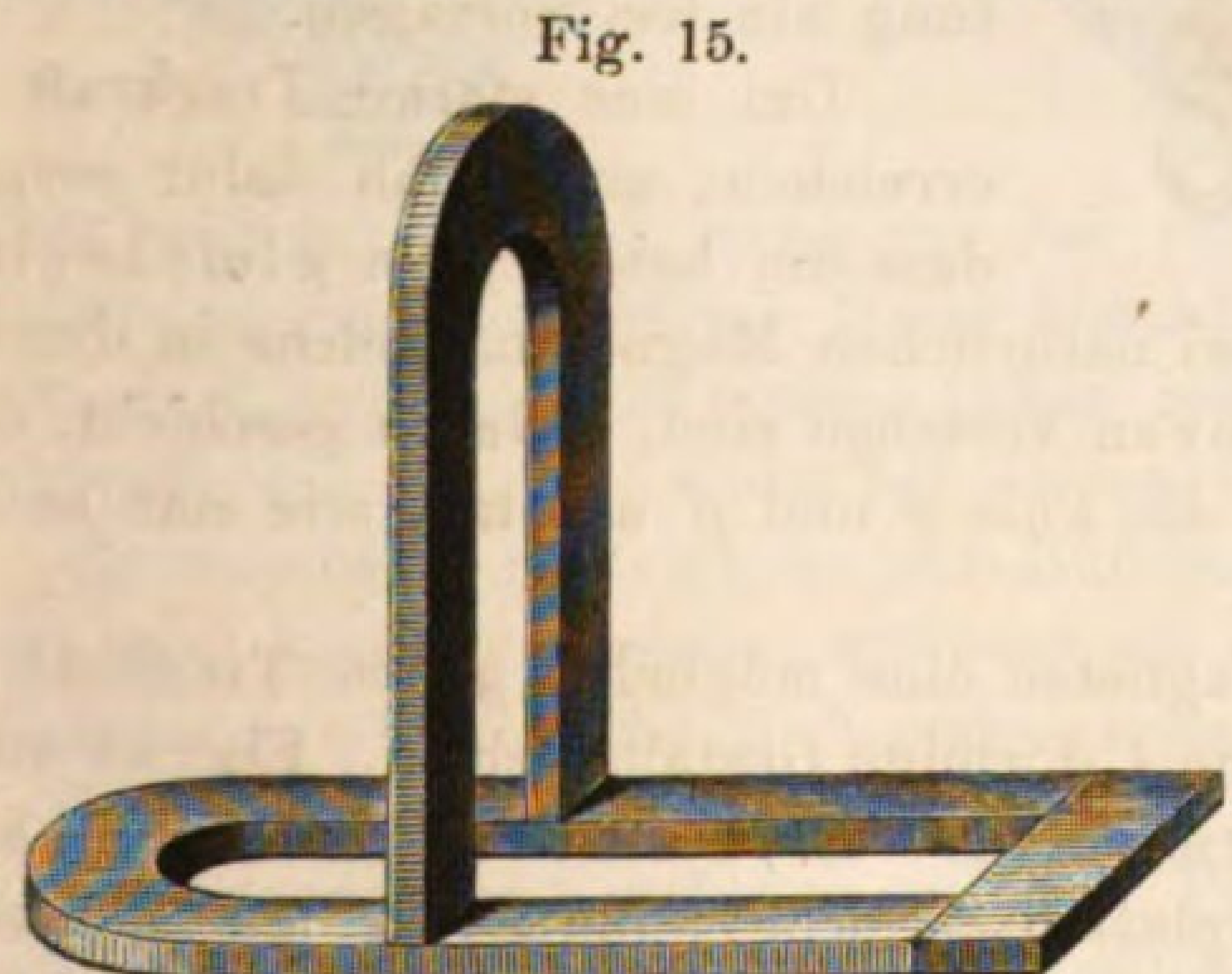


Man kann einen Magnetstab mit Folgepunkten dadurch herstellen, dass man mehrere kleinere regelmässig magnetisirte Stahlstäbchen mit den gleichnamigen Polen aneinander stösst.

Es versteht sich von selbst, dass Magnetnadeln frei von Folgepunkten sein müssen.

Um hufeisenförmige Magnete zu machen, bedient man sich am besten der Hoffer'schen Methode, welche darin besteht, dass man an die beiden freien Enden des zu magnetisirenden, horizontal gelegten Hufeisens, welche die Pole werden sollen, eine Platte von weichem Eisen anlegt, wie Fig. 15 zeigt, einen hufeisenförmigen Streichmagnet, welcher gleiche Breite mit dem zu magnetisirenden haben muss, am Bogen aufsetzt, und ihn dann parallel mit sich selbst gegen die Enden hin streicht.

Fig. 15.



In Ermangelung eines Streichmagnets von der gleichen Breite des neu herzustellenden kann man auch den einen Schenkel des Hufeisens zuerst mit dem einen, dann den anderen Schenkel mit dem anderen Pol eines kräftigen Magnetstabes streichen, noch vortheilhafter aber wendet man die Methode des Kreisstriches an, d. h. man streicht mit einem und demselben Pole des Streichmagnets zuerst auf dem einen Schenkel vom Bogen bis zum Ende, dann ohne Unterbrechung auf der weichen Eisenplatte fort zum Ende des anderen Schenkels, auf diesem weiter bis zum Bogen, über den Bogen

weg und so weiter, immer den magnetisirenden Pol im Kreise herum führend. Dieselbe Operation wird dann auf der anderen Seite der Stahlplatte wiederholt.

Noch bequemer lässt sich die Operation des Kreisstrichs ausführen, wenn man statt der Eisenplatte ein dem ersteren ganz gleiches Hufeisen an die Enden desselben ansetzt. Man erhält auf diese Weise gleich zwei Hufeisenmagnete.

6 **Magnetische Armaturen** nennt man eiserne Ansatzstücke oder eiserne Fassungen, mit welchen natürliche oder künstliche Magnete versehen werden, um ihren Magnetismus in zweckmässiger Weise zur Wirkung zu bringen.

So wird z. B. an jede der Polflächen eines natürlichen Magnets eine ungefähr 1 Linie dicke Eisenplatte (die Flügel *l* und *l'*, Fig. 16 und Fig. 17) angelegt und durch messingene Bänder befestigt, welche unten in den hervorragenden Eisenstücken *p* und *p'*, den Füssen, enden. Durch die magnetisirende Wirkung, welche der natürliche Magnet auf diese angelegten Eisenstücke ausübt, werden nun die Füsse *p* und *p'* in entgegengesetzte Pole verwandelt, deren magnetische Kraft sich besser verwerthen lässt, als die der ursprünglichen Magnetpole, weil sie nach einer und derselben Richtung hin frei vorragen.

Fig. 16.

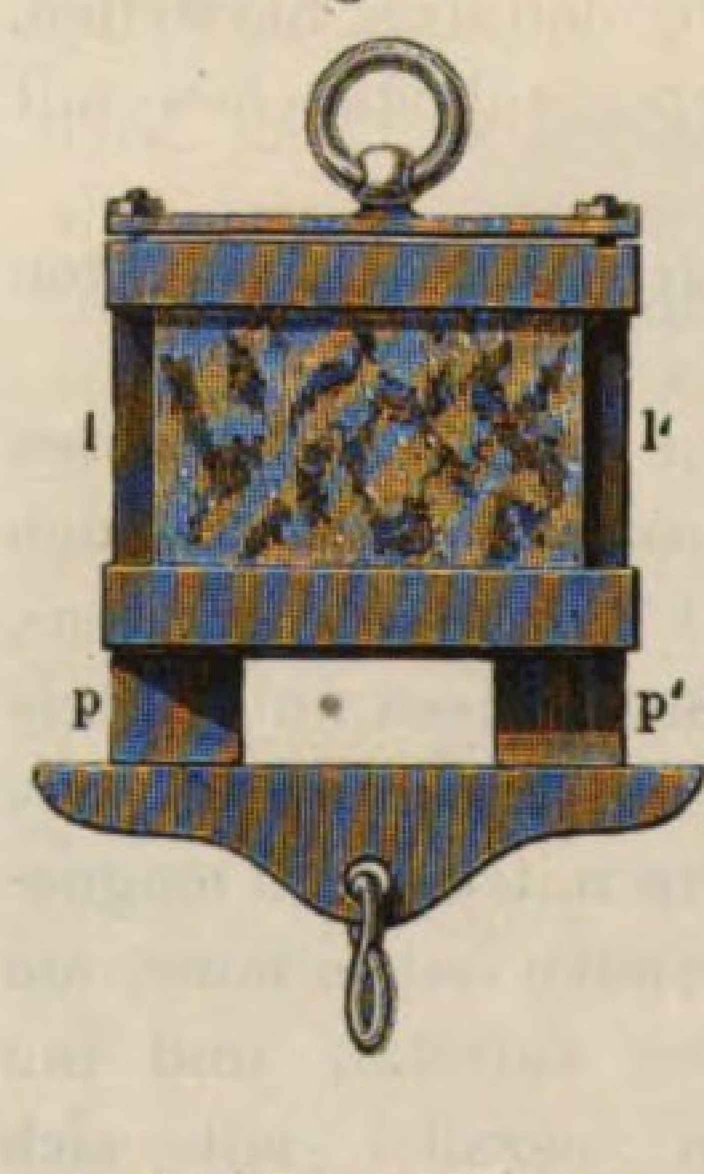
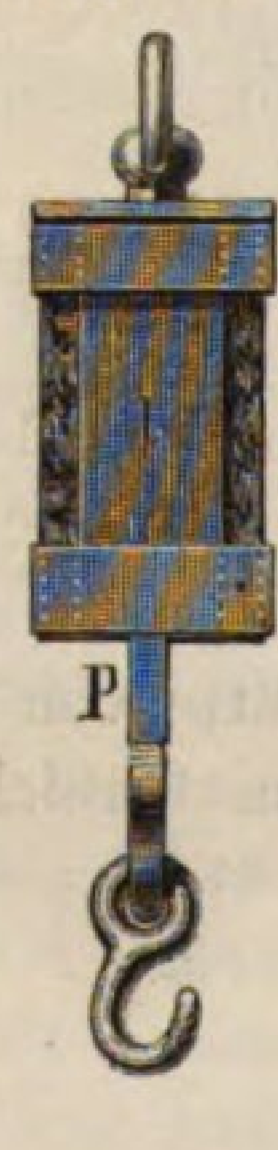


Fig. 17.



Um eine starke Tragkraft zu erreichen, muss man dafür sorgen, dass die beiden Pole gleichzeitig zur Wirkung kommen, was bei natürlichen Magneten, welche in der angegebenen Weise mit Armaturen versehen sind, dadurch geschieht, dass man einen eisernen Anker an die Pole *p* und *p'* ansetzt, wie man es aus den Figuren ersieht.

Um bei künstlichen Magneten eine möglichst grosse Tragkraft zu erzielen, muss man ihnen eine U-förmige Gestalt geben. Fig. 18 stellt einen solchen Hufeisenmagnet dar. Er besteht aus mehreren hufeisenförmig gebogenen Stahlplatten, welche unmittelbar auf einander gelegt werden. Zwei Schrauben halten sie zusammen. Jede Platte wird vor dem Zusammensetzen für sich magnetisirt. Der Bogen des Magnetbündels steckt in einer Hülse von Holz oder Messing, welche mit einem Haken oder einem Ringe zum Aufhängen versehen ist.

Ein Stück weiches Eisen *mm* bildet die Armatur, welche hier der Anker heisst und an welchen auch das zu tragende Gewicht angehängt wird. Die Form des Ankers ist nicht gleichgültig. Am besten giebt

man ihnen die in der Figur angegebene Gestalt. Die Berührungsfläche, mit welcher der Anker die Polflächen berührt, darf nicht zu breit sein, weshalb man den Anker oben noch etwas schmäler macht als die Platte ist, aus der er genommen wurde. Man macht die Bahn des Ankers je nach der Grösse der Magnete $^1/_2$ bis 2 Linien breit. Dass bei breiteren Berührungsflächen die Tragkraft geringer wird, rührt wahrscheinlich daher, dass in diesem Falle die Berührung zwischen dem Anker und den Polen nicht leicht so vollständig hergestellt werden kann als bei schmälerer Bahn.

Denken wir uns den Anker durch einen Messingstreifen von 1 bis 2 Centimeter Breite in zwei gleiche Theile getheilt, wie es Fig. 18 a. darstellt, so wird jeder Pol des Magnets nur auf die eine Hälfte des Ankers magnetisirend wirken können. Die Tragkraft, welche der Magnet unter diesen Umständen zeigt, ist die Summe der Tragkräfte der beiden einzelnen Pole. Findet aber eine solche Theilung des Ankers nicht statt, besteht er ganz aus weichem Eisen, so pflanzt sich die magnetisirende Wirkung jedes der beiden Magnetpole durch die ganze Masse des Ankers fort. Der Pol S begünstigt die Bildung eines Südpols in s, N unterstützt die Bildung eines Nordpols in n, die magnetische Polarität in n und in s wird also ungleich kräftiger sein, als wenn sie nur von dem benachbarten Pole des Magnets ausgegangen wäre. Daher kommt es denn auch, dass die Tragkraft eines gehörig mit einem Anker armirten Magnets die doppelte Tragkraft des einzelnen Poles bei weitem übertrifft.

Fig. 18.



Fig. 18 a.



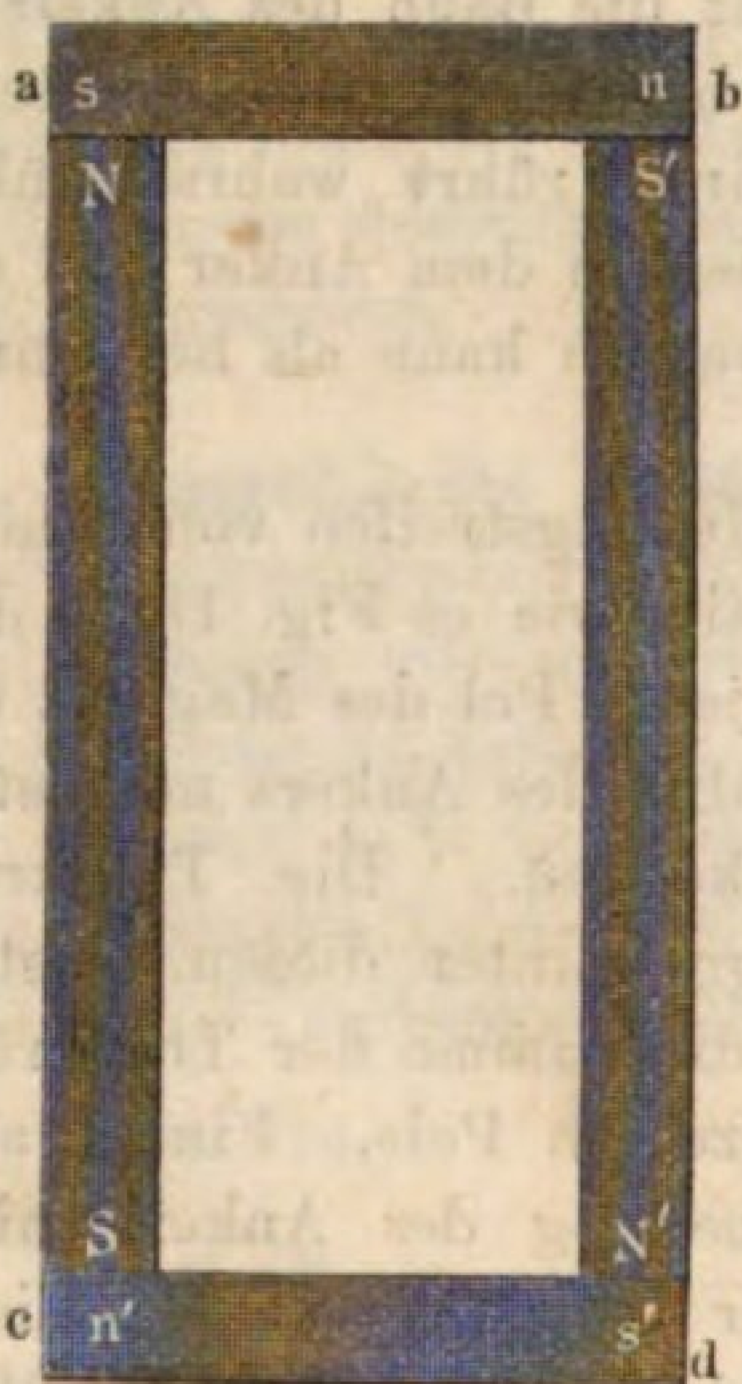
So vermochte z. B. ein kleiner Hufeisenmagnet bei getheiltem Anker kaum zwei Pfund zu tragen, während ein ganz eiserner Anker bei einer Belastung von $8^1/_2$ Pfund noch nicht abriss.

Da jeder Pol eines Hufeisenmagnets durch den angelegten Anker hindurch verstärkend auf den anderen Pol wirkt, so ist der angelegte Anker ein Mittel nicht allein eine allmälige Schwächung des Magnets zu verhindern, sondern sogar eine allmälige Kräftigung schwacher Magnete zu erzielen.

Dasselbe Princip lässt sich aber auch zur Erhaltung und Kräftigung des Magnetismus in Stahlstäben in Anwendung bringen. Man legt zwei gleiche Magnetstäbe NS und $N'S'$, Fig. 19 (a. f. S.), parallel so nebeneinander, dass der Nordpol des einen nach derselben Seite gerichtet ist, wie

der Südpol des anderen und fügt dann zwei Stücke von weichem Eisen, *ab* und *cd*, so an, dass dadurch das Rechteck geschlossen wird.

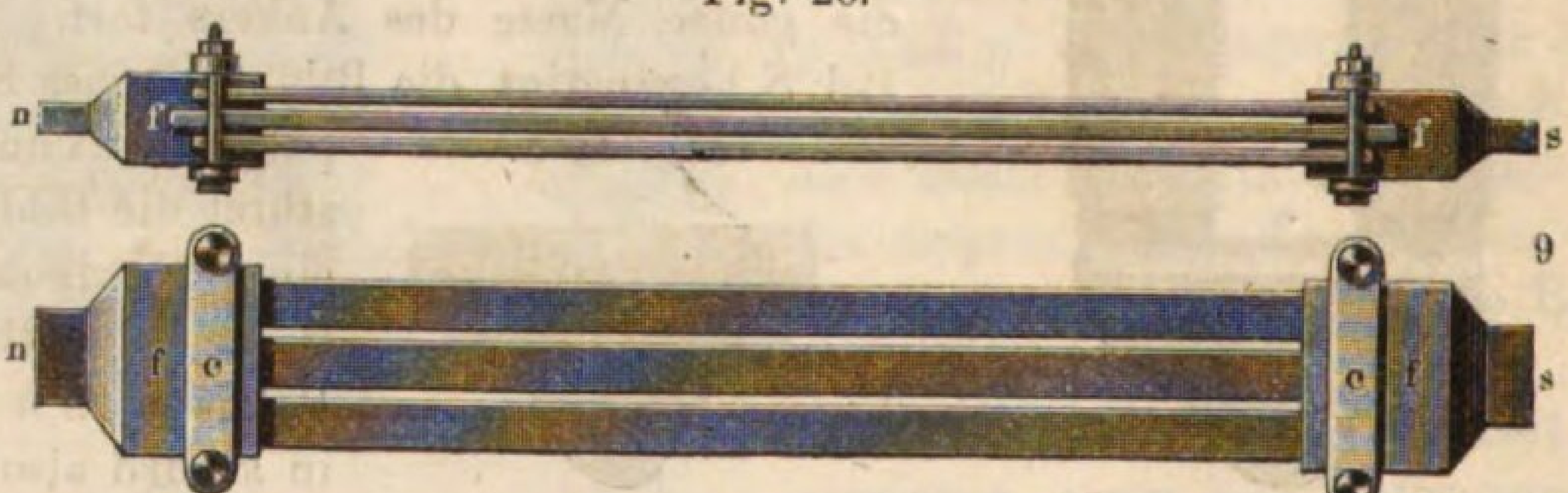
Fig. 19.



Eiserne Armaturen dienen auch um nach Coulomb's Methode durch Combination einzelner Magnetstäbe sogenannte magnetische Magazine herzustellen. Fig. 20 stellt ein solches dar, welches aus neun Magnetstäben besteht, die in drei Schichten geordnet sind, deren mittlere auf beiden Seiten etwas vorragt. Die Enden dieser Stäbe sind in die eisernen Armaturen *f* eingesetzt und durch die Messingbänder *c* zusammengehalten. Die hervorragenden Enden *n* und *s* dieser eisernen Armaturen bilden sehr kräftige Magnetpole, weil in ihnen gewissermaassen die magnetische Polarität der einzelnen Magnetstäbe concentrirt erscheint.

Solcher Magnetbündel bedient man sich auch, um nach den in §. 5 besprochenen

Fig. 20.



Methoden die Magnetisirung von Stahlstäben und Stahlnadeln auszuführen.

7 **Tragkraft der Hufeisenmagnete.** Wenn man einen aus einer einzigen Stahllamelle bestehenden Hufeisenmagnet auf einen ganz gleichen in der Weise auflegt, dass die gleichnamigen Pole auf einander zu liegen kommen, so hat jeder ein Bestreben, die Polarität des anderen umzukehren, und dies hat eine gegenseitige Schwächung der beiden Magnete zur Folge. Legt man z. B. in der angegebenen Weise zwei Hufeisenmagnete auf einander, deren jeder für sich allein 10 Pfund zu tragen im Stande ist, so werden sie zu einem Magnet verbunden nicht im Stande sein eine Last von 20 Pfund zu tragen.

Daraus geht denn überhaupt hervor, dass die Tragkraft der Hufeisenmagnete durchaus nicht ihrer Masse proportional wachsen kann, denn eine Stahlplatte von doppelter Dicke kann als eine Combination von zwei Stahlplatten einfacher Dicke betrachtet werden.

Wenn man eine hufeisenförmige Stahllamelle magnetisirt, während der Anker vorgelegt ist, so kann man ihren Magnetismus weit über die Grenze hinaus steigern, die sich ohne Anker erreichen lässt. Sobald aber der Anker abgerissen wird, nimmt der Magnetismus wieder ab und der Magnet trägt jetzt bei weitem nicht mehr so viel als vorher. Unter constanter Tragkraft eines Magnets versteht man diejenige, welche ihm nach mehrmaligem Abreissen des Ankers noch bleibt. Durch Stossen, Fallenlassen u. s. w. kann freilich auch die constante Tragkraft eines Magnets noch bedeutend geschwächt werden.

Nach Häcker's Versuchen besteht zwischen Masse und Tragkraft stählerner Hufeisenmagnete die Relation

$$M = a\sqrt[3]{P^2},$$

wenn M die Tragkraft, P das Gewicht des Magnets, a aber einen constanten Factor bezeichnet. Für seine ausgezeichneten Stahlmagnete ergab sich für a der Werth 12,6, wenn P und M in Pfunden ausgedrückt sind. Nach dieser Formel ergeben sich folgende zusammengehörige Werthe von Gewicht und Tragkraft der Häcker'schen Hufeisenmagnete:

Gewicht	Tragkraft.
4 Loth	3 Pfund 4 Loth
16 „	7 „ 28 „
1 Pfund	12 „ 17 „
4 „	31 „ 19 „
20 „	92 „ 12 „
100 „	270 „ — „
1000 „	1253 „ 24 „
1972 „	1972 „ — „

Während also ein Magnet von 4 Loth das 25fache seines Gewichts trägt, kann ein 100pfündiger nicht einmal das Dreifache seiner Last tragen. Ueber 1972 Pfund hinaus wäre demnach die Tragkraft der Magnete sogar geringer als ihr Gewicht.

Logemann und Wetteren in Harlem haben es in der Darstellung von Stahlmagneten so weit gebracht, dass ein 1pfündiger, aus einer Lamelle bestehender Hufeisenmagnet 25 bis 26 Pfund trägt, der Factor a müsste also für ihre Magnete ungefähr doppelt so gross angenommen werden als oben angegeben wurde.

Der grösste Magnet, welchen Logemann angefertigt hat, befindet sich in der Ecole polytechnique zu Paris. Aus 7 Lamellen zusammengesetzt wiegt er 67 Kilogramm und hat eine Tragkraft von 275 Kilogramm.

In neuerer Zeit hat man mit Erfolg auch das Gusseisen zur Darstellung von Hufeisenmagneten benutzt.

Bevor wir nun die Gesetze der magnetischen Wirkungen weiter erörtern können, müssen wir erst die wichtigsten Beziehungen des Erdmagnetismus kennen lernen.

8 **Magnetische Declination.** Wir haben bereits oben gesehen, dass eine Magnetnadel oder ein Magnetstab, welcher so aufgehängt ist, dass sich seine Längenaxe nur in einer horizontalen Ebene um eine verticale Axe drehen kann, immer eine bestimmte Stellung einnimmt, indem die magnetische Axe, die Verbindungslinie der beiden Pole, stets gegen einen bestimmten Punkt des Horizonts hinweist. Wird die Nadel durch irgend eine störende Kraft aus dieser Gleichgewichtslage herausgebracht und dann sich selbst überlassen, so kehrt sie nach einer Reihe von Oscillationen immer wieder in diese Gleichgewichtslage zurück.

Denken wir uns durch die magnetische Axe einer in ihrer Gleichgewichtslage befindlichen horizontalen Magnetnadel eine Verticalebene gelegt, so ist diese der magnetische Meridian. Der magnetische Meridian eines Ortes macht nun mit dem astronomischen Meridian einen Winkel, welchen man die Declination oder Abweichung nennt. Die Declination ist östlich oder westlich, je nachdem das Nordende der Nadel östlich oder westlich vom astronomischen Meridian liegt. Stellt z. B. *sn*, Fig. 21, den Meridian, *ab* aber die Richtung der horizontalen Magnetnadel dar, so ist die Declination eine westliche. Die westliche Declination betrug zu Göttingen im Januar 1837 $18^0\ 37'\ 30{,}55''$; wir werden bald sehen, dass die Declination mit der Zeit sich ändert. Es giebt Orte auf der Erde, wo die Richtung der Magnetnadel vollständig mit dem Meridian zusammenfällt; an diesen Orten ist natürlich die Declination gleich Null.

Jeder Apparat, welcher dazu dient, die Declination zu messen, heisst eine Declinationsbussole.

Fig. 22 stellt eine solche Bussole ziemlich einfacher Art vor. Die Spitze, auf welche die Nadel aufgesetzt ist, bildet den Mittelpunkt eines

Fig. 21.

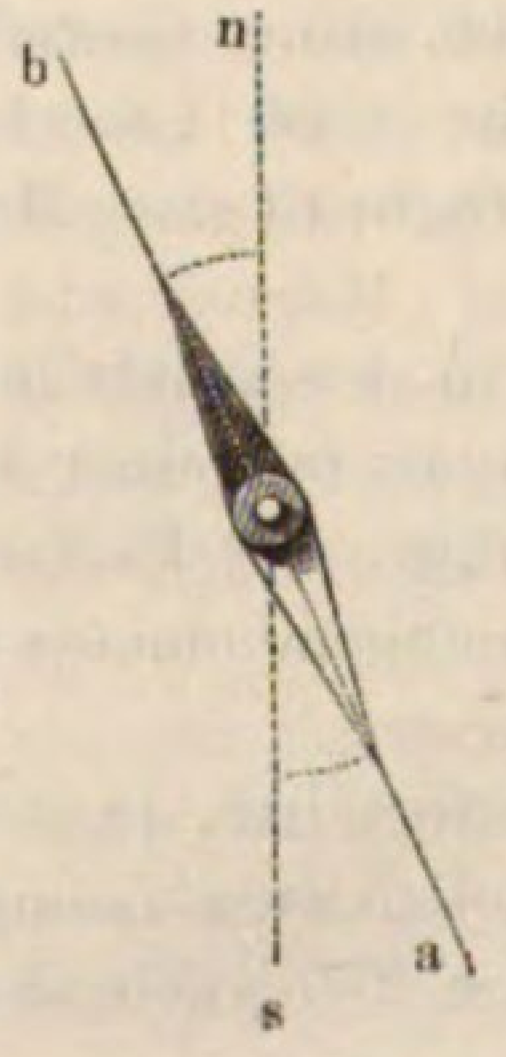
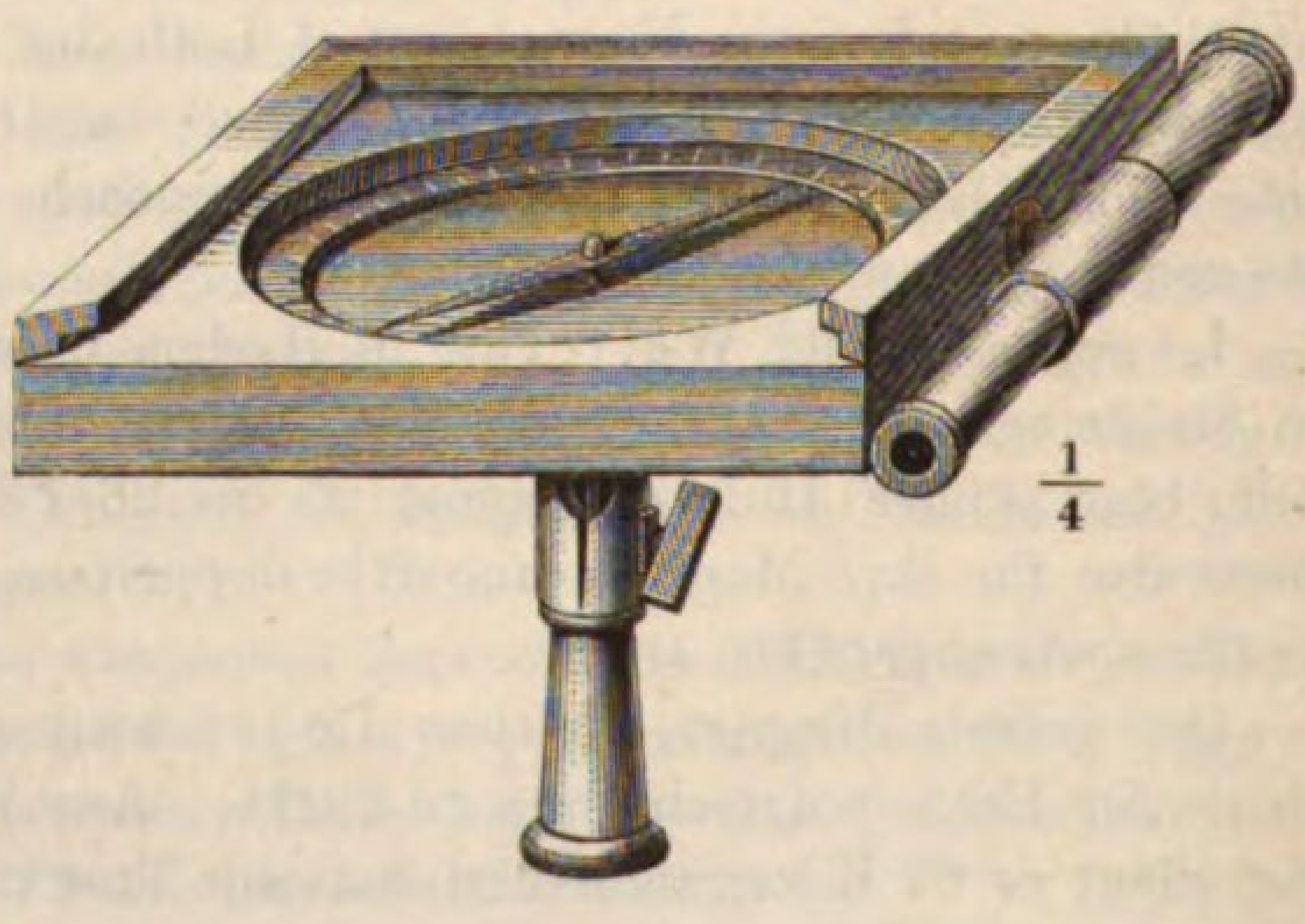


Fig. 22.

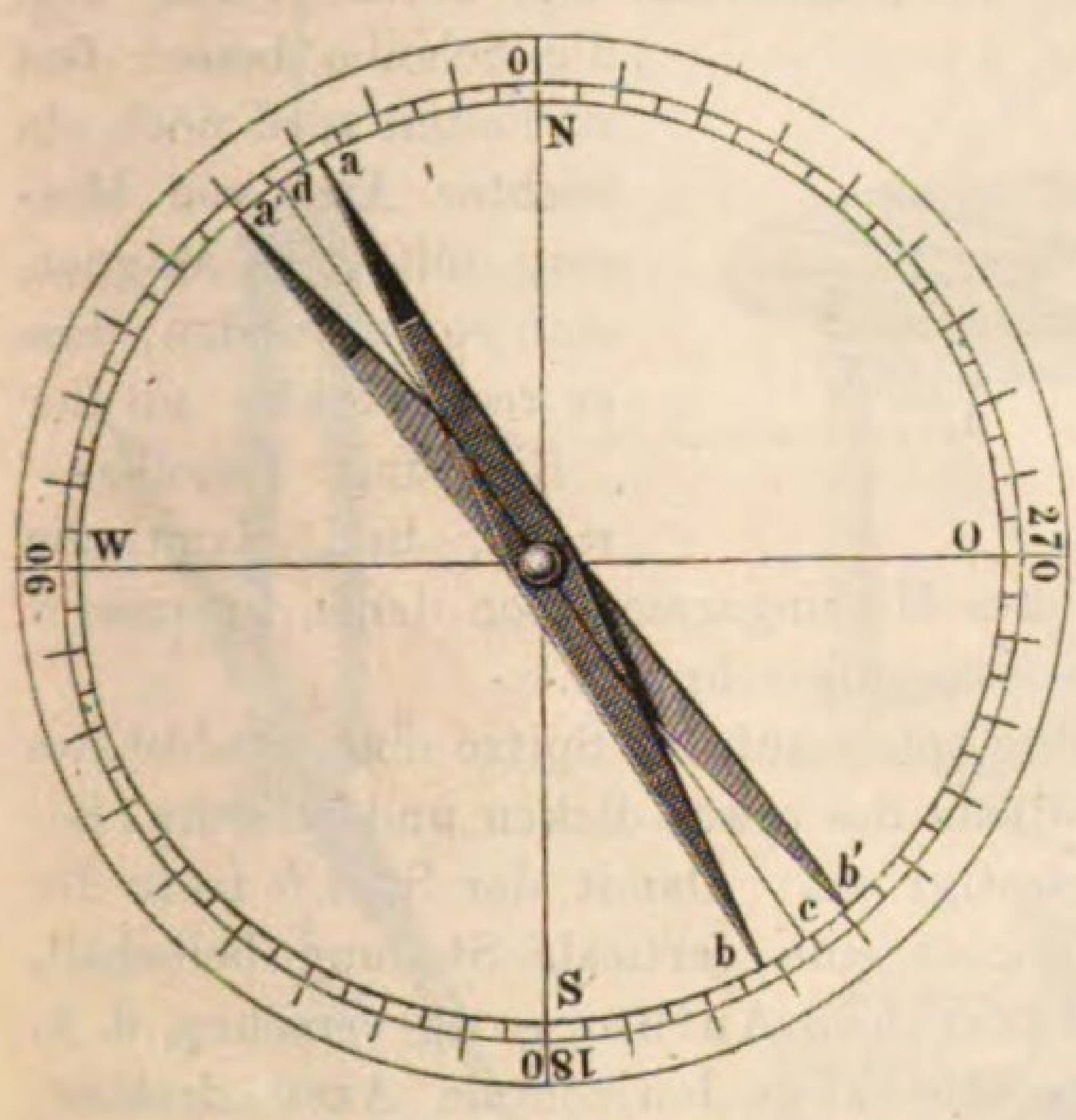


getheilten Horizontalkreises, welcher um eine verticale Axe in seiner eigenen Ebene umgedreht werden kann. An der Seite des Gehäuses ist ein Fernrohr angebracht, dessen Axe mit derjenigen Linie parallel läuft, welche man sich vom Nullpunkte des getheilten Kreises über seinen Mittelpunkt zum Theilstriche 180° gezogen denken kann. Je nachdem man den Horizontalkreis in seiner Ebene umdreht, wird die Spitze der Magnetnadel auf andere Theilstriche zu stehen kommen. Wenn man den Apparat so stellt, dass die Nadel gerade auf den Nullpunkt der Theilung zeigt, so ist die Axe des Fernrohrs mit der Nadel parallel, sie fällt mit dem magnetischen Meridian zusammen; bei jeder anderen Stellung aber zeigt die Nadel auf denjenigen Theilstrich des Kreises, welcher angiebt, wie viel Grade der Winkel beträgt, welchen die Richtung der Nadel mit der Axe des Fernrohrs (oder vielmehr der Horizontalprojection der Fernrohraxe) macht; wenn man also das Fernrohr genau in den astronomischen Meridian bringt, so kann man auf dem Theilkreise ablesen, welchen Winkel der magnetische Meridian mit dem astronomischen macht.

Dieses Instrument kann nun überhaupt als Winkelmessinstrument dienen, weil man mit Hülfe desselben jederzeit den Winkel bestimmen kann, welchen die Visirlinie des Fernrohrs (oder vielmehr ihre Horizontalprojection) mit dem magnetischen Meridian macht.

Die Bestimmung der magnetischen Declination mit Hülfe der eben beschriebenen Bussole wird mit einem constanten Fehler behaftet sein, wenn die magnetische Axe der Nadel nicht genau mit der geometrischen, d. h. der Verbindungslinie der beiden Spitzen, zusammenfällt. Dieser Fehler wird nun durch die Methode des Umlegens corrigirt.

Fig. 23.



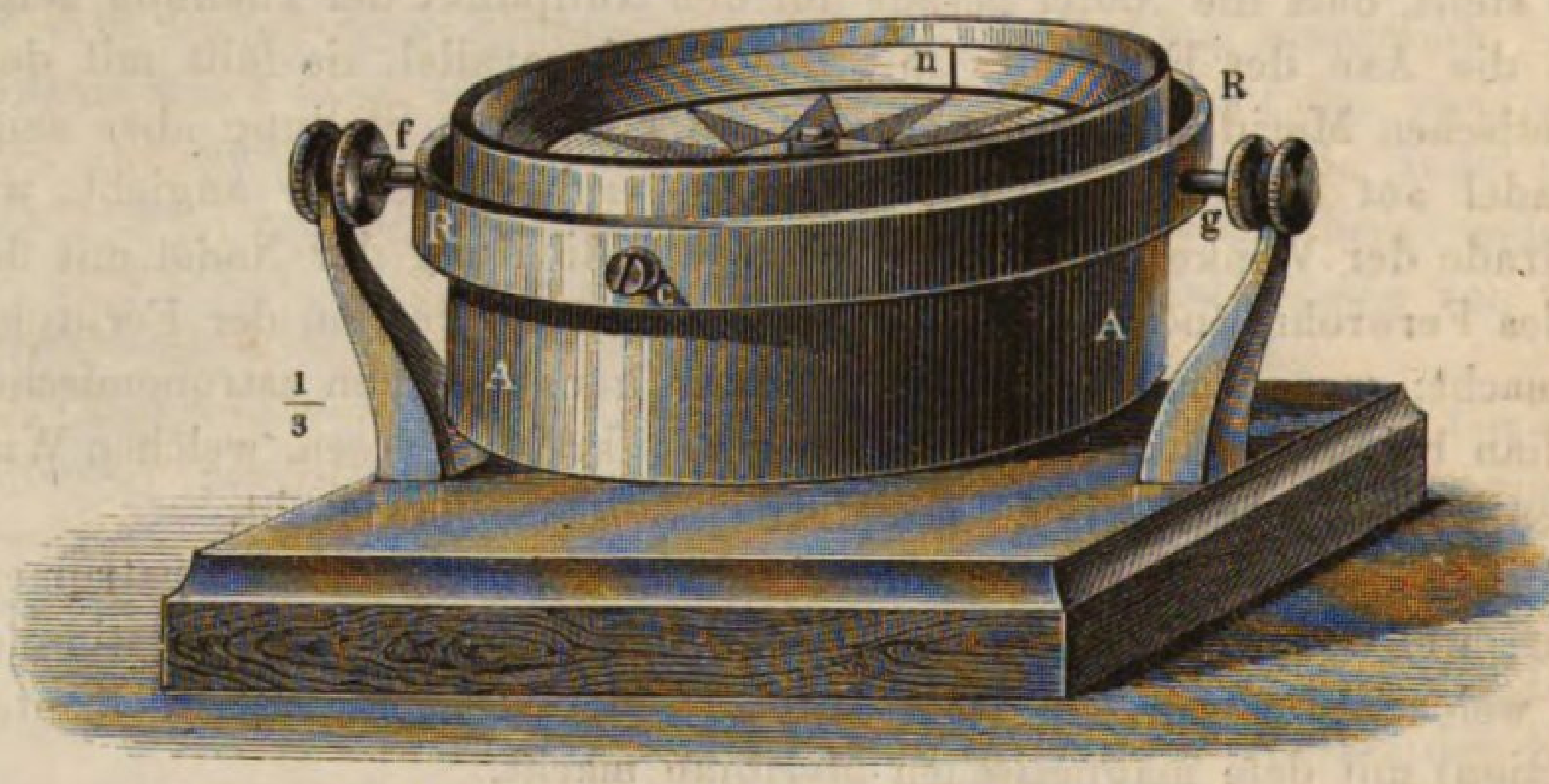
Zu diesem Zwecke ist die Nadel nicht auf ihrem Hütchen befestigt, sondern nur aufgelegt, so dass man sie abnehmen, umkehren (d. h. die bis dahin nach oben gerichtete Fläche nach unten wenden) und dann wieder auflegen kann. In Fig. 23 stelle z. B. ab die Lage einer horizontalen Magnetnadel dar, deren magnetische Axe in die Linie dc fällt, so ist die Gradzahl, auf welche die Spitze a der Nadel deutet, offenbar kleiner als der gesuchte Declinationswinkel. Legt man aber nun die Nadel in der angegebenen Weise um, so nimmt sie jetzt die Lage $a'b'$ an, und es deutet die Spitze a' der Nadel auf eine Gradzahl, welche um eben so

viel zu gross ist, wie sie vorher zu klein war; man erhält also den wahren Werth der Declination, wenn man aus den beiden Ablesungen bei a und a' das Mittel nimmt.

Die Declinationsbussole, deren sich die Seefahrer bedienen, ist unter dem Namen des Compasses bekannt.

Fig. 24 stellt einen einfachen Seecompass dar, welcher sich von den bisher besprochenen Bussolen dadurch unterscheidet, dass die Theilung

Fig. 24.



am Rande einer aus starkem Papier bestehenden auf der Magnetnadel befestigten, also mit der Magnetnadel drehbaren Scheibe aufgetragen ist. Häufig ist auch die Gradtheilung durch eine sogenannte Windrose ersetzt, wie dies z. B. bei dem in Fig. 24 dargestellten Instrumente der Fall ist. Fig. 25 zeigt, wie die fragliche Scheibe, deren vordere Hälfte der Deutlichkeit halber fehlt, auf dem Magnetstab SN befestigt ist. Um die Scheibe besser fest zu halten wird noch ein leichter Arm von Messing mit dem Magnetstab so verbunden, dass er rechtwinklig auf der Richtung desselben steht, und dann die Scheibe noch auf den Enden dieses Messingarmes (von denen in unserer Figur nur das vordere a sichtbar ist) aufgeschraubt.

Fig. 25.



Das Hütchen des Magnetstabes spielt auf der Spitze eines Stahlstiftes b, Fig. 25, welcher genau im Centrum des etwas dicken und schweren Bodens der Büchse A, Fig. 24, befestigt ist. Damit der Stift b trotz der Schwankungen des Schiffes möglichst eine verticale Stellung beibehält, ist die Büchse A mit einer Cardanischen Aufhängung versehen, d. h. sie ist um zwei zu einander rechtwinklige horizontale Axen drehbar. Zunächst hängt die Büchse in zwei diametral einander gegenüberstehenden Zapfen c und d, von denen in unserer Figur nur der Kopf des vorderen c

sichtbar ist. Diese beiden Zapfen sind in einem Messingring *R* befestigt, welcher in den Zapfen *f* und *g* hängt, deren Verbindungslinie rechtwinklig zu *cd* steht.

Der Compass ist nun so auf dem Schiff befestigt, dass die Linie *cd* mit der Richtung des Kieles parallel steht; ferner ist in der Verticalebene von *cd* an der inneren Wand der Büchse *A* eine Marke *n* angebracht. Wenn also der Kiel des Schiffes im magnetischen Meridian steht, so stellt sich die Magnetnadel dem Kiel parallel und der Nordpunkt der Windrose zeigt gerade auf die Marke *n*; wenn aber der Schiffskiel eine andere Richtung hat, so wird irgend ein anderer Punkt der Windrose auf die Marke *n* zeigen, aus dem man entnehmen kann, welchen Winkel der Schiffskiel mit dem magnetischen Meridian macht.

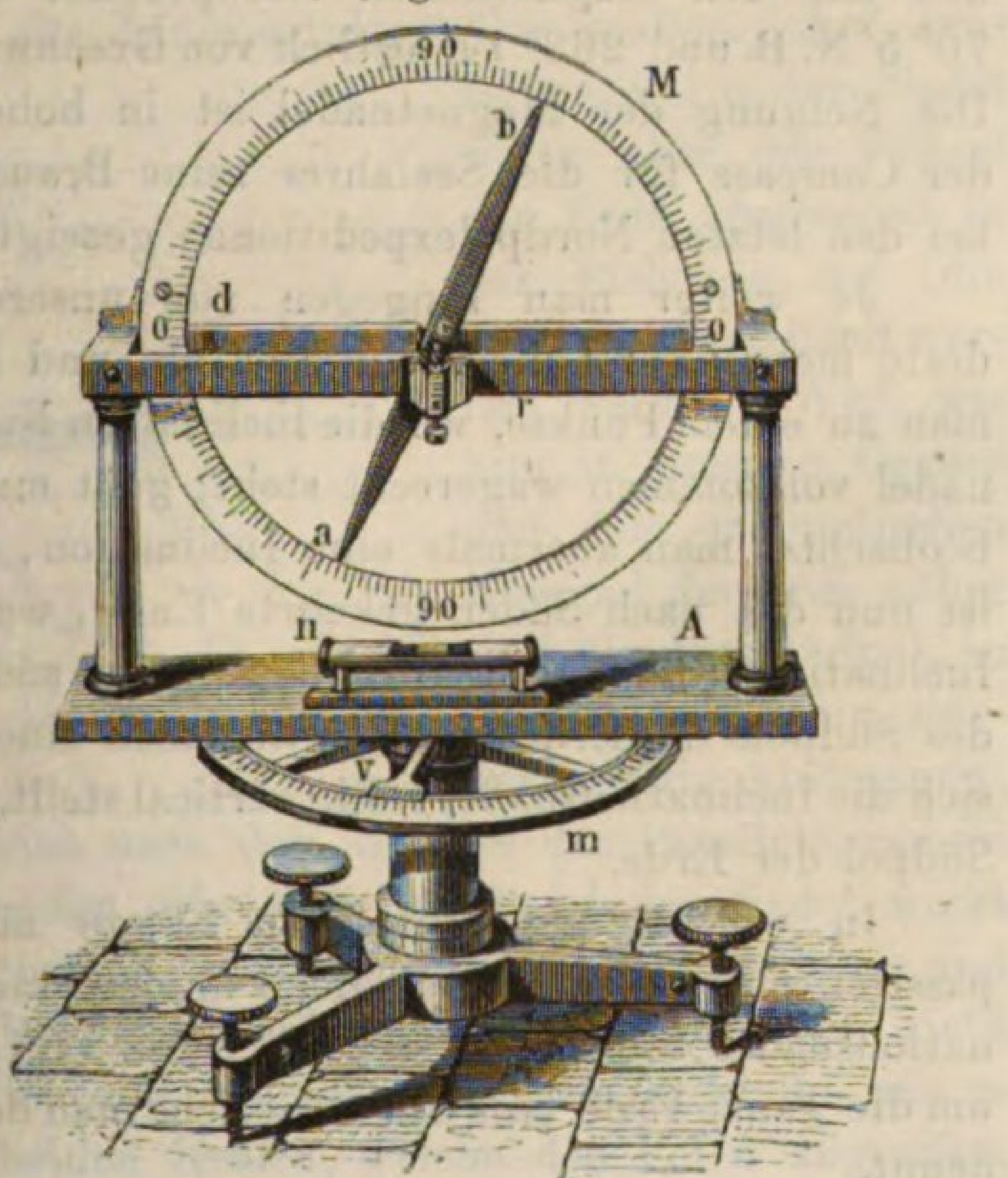
Magnetische Inclination. Die Magnetnadeln, welche wir bisher 9
betrachtet haben, sind in einer Weise aufgehängt, dass sie sich nur in einer horizontalen Ebene, also um eine verticale Axe drehen können. Sowohl bei der in Fig. 2 und 3 als auch bei der in Fig. 4 dargestellten Aufhängung ist die horizontale Stellung dadurch gesichert, dass der Schwerpunkt der Nadel u n t e r dem Aufhängepunkte liegt. Sobald man aber eine Magnetnadel i n ihrem Schwerpunkte selbst aufhängt, so bleibt sie nicht mehr wagerecht stehen, sondern sie macht einen Winkel mit der Horizontalen, welcher den Namen der I n c l i n a t i o n führt.

Der Fig. 26 abgebildete Apparat ist sehr geeignet, die Inclination der Magnetnadel zu zeigen. An einem Rahmen von Messing, welcher an einem Faden aufgehängt ist, befindet sich eine sehr leicht bewegliche ho-

Fig. 26.



Fig. 27.



rizontale Axe *ab*, welche durch den Schwerpunkt einer Magnetnadel geht. Man sieht, dass eine so aufgehängte Magnetnadel um eine verticale und um eine horizontale Axe sich drehen und also dem richtenden Einflusse der Erde ganz frei folgen kann. Die Nadel stellt sich nun so, dass ihre Richtungslinie in den magnetischen Meridian fällt; das nach Norden gekehrte Ende der Nadel aber senkt sich, die Richtungslinie der Nadel macht also einen Winkel mit der Horizontalen, der in unseren Gegenden ungefähr 70⁰ beträgt.

Wenn die Inclinationsnadel in einem getheilten Verticalkreise angebracht ist, dessen Ebene mit der Umdrehungsebene der Nadel zusammenfällt, wie Fig. 27 (a. v. S.), so kann man auf diesem Kreise die Grösse der Inclination ablesen, wenn man dafür sorgt, dass die Ebene des Verticalkreises genau in den magnetischen Meridian fällt.

Solche Apparate, welche dazu dienen, die Inclination zu messen, heissen Inclinatorien oder Inclinationsbussolen.

Auch bei den Inclinationsbussolen muss man, um möglichst genaue Resultate zu erhalten, die Methode des Umlegens in Anwendung bringen, d. h. nachdem man die erste Ablesung gemacht hat, muss man die Nadel von ihrer Unterlage abheben und so wieder aufsetzen, dass die Seite, welche bisher die östliche war, nun die westliche wird, und danach eine zweite Ablesung vornehmen.

Die Grösse der Inclination nimmt im Allgemeinen zu, je mehr man nach Norden kommt; so beobachtete z. B. Capitän Philipps im Jahre 1773 unter 79⁰ 44′ nördlicher Breite eine Inclination von 82⁰ 9′, und Parry unter 70⁰ 47′ eine Inclination von 88⁰ 43′. Capitän Ross endlich hat den magnetischen Nordpol der Erde selbst erreicht. Unter 70⁰ 5′ N. B. und 263⁰ 14′ östlich von Greenwich fand er die Inclination 90⁰. Die Neigung der Magnetnadel ist in hohen Breiten so bedeutend, dass der Compass für die Seefahrer seine Brauchbarkeit verliert, wie es sich bei den letzten Nordpolexpeditionen gezeigt hat.

Je weiter man hingegen von unseren Breiten nach Süden geht, desto mehr nimmt die Inclination ab, und in der Aequatorialzone kommt man zu einem Punkte, wo die Inclination Null ist, wo also die Inclinationsnadel vollkommen wagerecht steht; geht man noch weiter nach Süden, so beobachtet man abermals eine Inclination, aber eine entgegengesetzte; es ist nun das nach Süden gekehrte Ende, welches sich tiefer stellt. Diese Inclination nimmt nun ebenfalls mit der südlichen Breite zu. In der Nähe des Südpols der Erde giebt es demnach einen zweiten Punkt, an welchem sich die Inclinationsnadel völlig vertical stellt, und dies ist der magnetische Südpol der Erde.

In welcher geographischen Länge man auch die Aequatorialzone passiren mag, so wird man doch immer einen Punkt finden, wo die Inclinationsnadel wagerecht steht. Diese Orte ohne Inclination bilden um die ganze Erde eine Curve, welche man den magnetischen Aequator nennt.

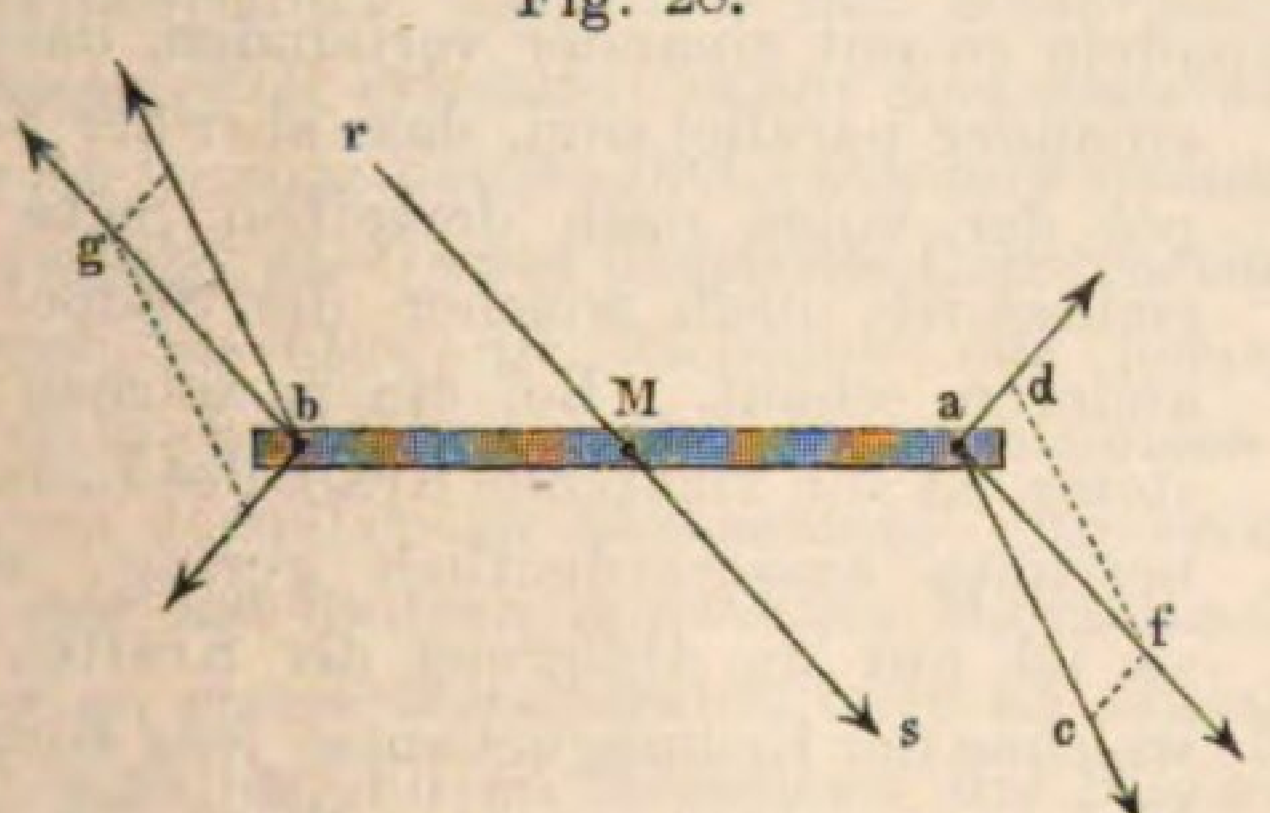
Der magnetische Aequator fällt nicht mit dem Erdäquator zusammen und bildet auch keinen regelmässigen grössten Kreis der Erdkugel. Näheres über den Verlauf des magnetischen Aequators in der kosmischen Physik.

Die Entdeckung der Inclination wird gewöhnlich einem Engländer Robert Normann zugeschrieben, der wenigstens im Jahre 1576 ein Inclinatorium construirt hat. Schon 33 Jahre früher aber kannte Georg Hartmann, Vicar zu St. Sebald in Nürnberg, die Inclination der Magnetnadel. Ihm ist auch die Entdeckung des Gesetzes zuzuschreiben, dass gleichnamige Polaritäten sich abstossen, ungleichnamige sich anziehen.

Richtende Kraft des Erdmagnetismus. Die Totalwirkung, 10
welche die Erde auf eine Magnetnadel ausübt, ist nur eine richtende, aber keine anziehende, denn wenn letzteres der Fall wäre, so müsste eine Magnetnadel mehr wiegen, als vorher, da sie noch nicht magnetisch gemacht worden war. Wenn man eine Magnetnadel auf einen Kork legt, welcher auf Wasser schwimmt, so stellt sie sich in den magnetischen Meridian, sie zeigt aber kein Bestreben, nach Norden zu schwimmen, weil die Entfernung der beiden Pole der Nadel vom magnetischen Nordpol der Erde so nahe gleich ist, dass die anziehende Wirkung desselben auf den einen Nadelpol vollkommen der abstossenden Wirkung auf den anderen gleich ist.

Welches auch die Lage der magnetischen Pole der Erde (der Mittelpunkt der magnetischen Kräfte) sein mag, so üben doch beide einen Einfluss auf die beiden Pole des Magnets aus. Es sei *ab*, Fig. 28, eine Magnetnadel, *a* der eine, *b* der andere Pol derselben. Der Nordpol der Erde wirkt anziehend auf den Pol *a* in einer Richtung, die wir nicht ermitteln können, die wir aber durch die Linie *ac* darstellen wollen. Auf denselben Pol *a* der Nadel wirkt aber der Südpol der Erde abstossend in der Richtung *ad* (die auch nicht ermittelt werden kann). Weil wir nun in unseren Gegenden dem magnetischen Nordpol der Erde näher sind als dem Südpol, so ist die Anziehung stärker als die Abstossung; die beiden Kräfte verbinden sich nach dem Gesetze des Parallelogramms der Kräfte zu einer Resultirenden *af*. Auf den Pol *b* der Nadel wirkt nun der Nordpol der Erde abstossend, und zwar in derselben Richtung und mit derselben Stärke, wie er den Pol *a* anzieht; der Südpol der Erde zieht aber den Pol *b* in derselben Richtung und mit derselben Stärke an, wie er den anderen abstösst. Die beiden Kräfte, welche den Pol *b* angreifen,

Fig. 28.



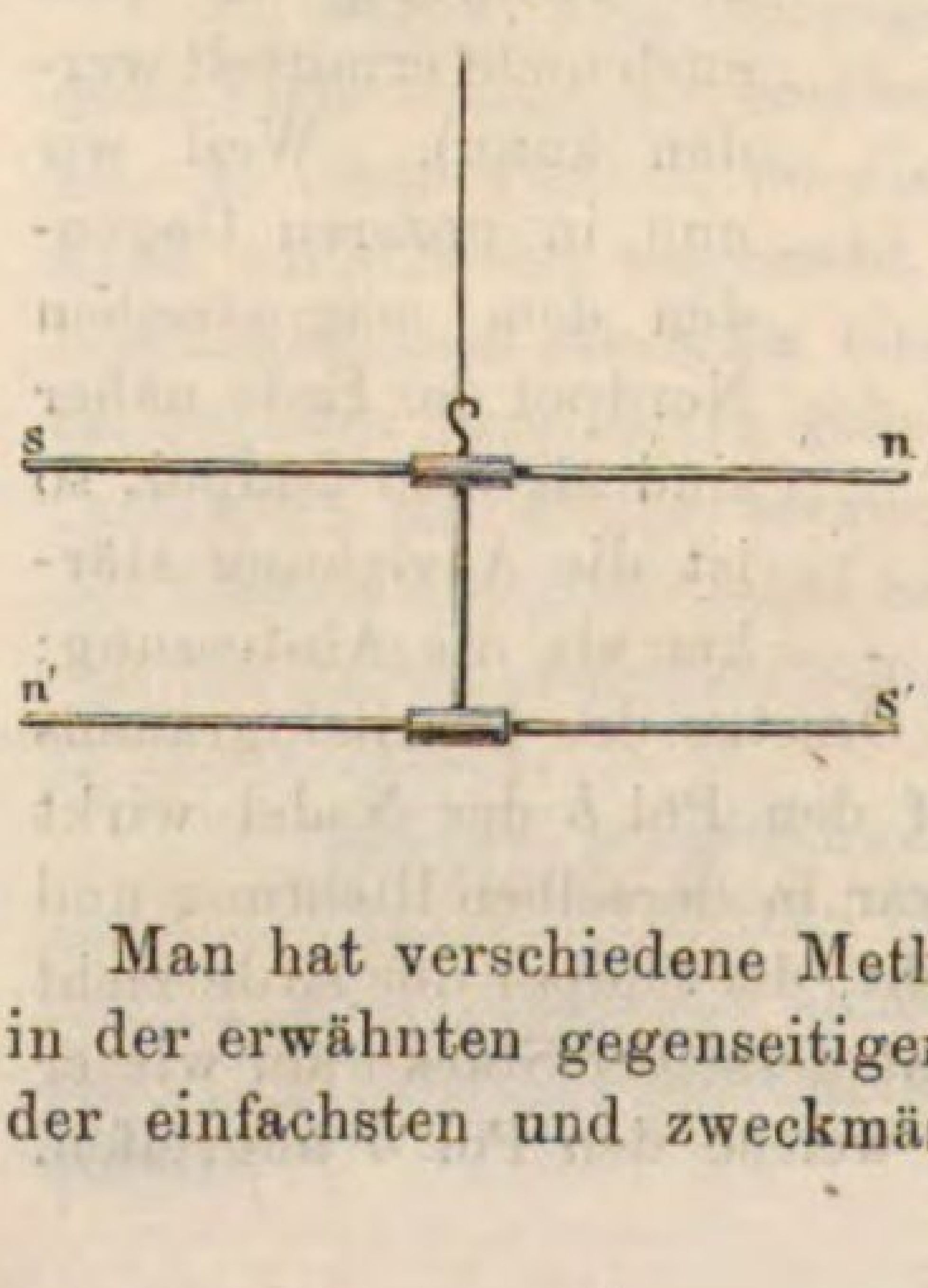
sind also den beiden in *a* angreifenden Kräften parallel, gleich und entgegengesetzt, mithin müssen auch die Resultirenden *bg* und *af* parallel, gleich und entgegengesetzt sein. Wenn aber die um ihren Schwerpunkt *M* frei drehbare Nadel in ihren Polen von zwei gleichen, parallelen und entgegengesetzten Kräften angegriffen wird, so werden sie nur eine Drehung der Nadel um ihren Schwerpunkt bewirken können; sie werden dieselbe in die Richtung *ns* bringen, welche mit der Richtung der Resultirenden *af* und *bg* parallel ist.

Diese Gleichgewichtslage beobachteten wir nun an der Inclinationsnadel; die Richtung der Inclinationsnadel fällt mit der Resultirenden der auf die Nadel wirkenden magnetischen Kräfte der Erde zusammen.

Bei der Declinationsnadel ist ein Theil der Wirkung der magnetischen Erdkräfte durch die Art, wie die Nadel aufgehängt ist, aufgehoben, bei der Declinationsnadel kommt nur die horizontale Composante der die Nadel richtenden magnetischen Erdkraft zur Wirkung, und diese horizontale Composante wird natürlicher Weise um so geringer sein, je mehr die Inclination wächst. Je weiter man sich also vom magnetischen Aequator entfernt, um so geringer ist die Kraft, welche die Declinationsnadel richtet.

11 **Astatische Nadeln.** Für mancherlei Versuche, namentlich wenn es sich darum handelt, schwache galvanische Ströme nachzuweisen, ist es von Wichtigkeit, Magnetnadeln zu haben, welche, selbst stark magnetisch, nur durch eine geringe Kraft in dem magnetischen Meridian zurückgehalten werden. Gewöhnlich erreicht man diesen Zweck dadurch, dass man statt einer einzigen Magnetnadel ein sogenanntes astatisches Nadelpaar in Anwendung bringt, wie ein solches Fig. 29 dargestellt ist. Es sind hier zwei Magnetnadeln so mit einander verbunden, dass sie einander parallel sind, dass aber der Nordpol der einen nach derselben Seite gerichtet ist, nach welcher der Südpol der anderen schaut. Bei einem solchen Systeme ist die richtende Kraft des Erdmagnetismus ausserordentlich gering, denn sie ist nur die Differenz der Kräfte, mit welchen der Erdmagnetismus jede einzelne Nadel zu richten strebt. Wäre das magnetische Moment der beiden Nadeln vollkommen gleich, so würde die richtende Kraft, welche die Erde auf ein solches System ausübt, gleich Null sein.

Fig. 29.



Man hat verschiedene Methoden angewendet, um die beiden Nadeln in der erwähnten gegenseitigen Lage mit einander zu verbinden. Eine der einfachsten und zweckmässigsten Vorrichtungen ist die in unserer

Figur dargestellte. Die Nadeln sind in zwei Hülsen eingeschoben, welche aus dünnem Charnierdraht von Silber gemacht und durch ein Stäbchen von Silberdraht verbunden sind.

Statt eine Nadel auf die eben erwähnte Weise durch Combination mit einer zweiten nahezu gleich starken astatisch zu machen, kann man diesen Zweck auch dadurch erreichen, dass man in den magnetischen Meridian einer einfachen Magnetnadel einen Magnetstab legt, wie Fig. 30 darstellt, welcher die Wirkung des Erdmagnetismus nahezu neutralisirt. Während der Erdmagnetismus die Nadel so stellt, dass ihr Nordpol in n, ihr Südpol in s ist, würde der Magnetstab NS bei der in unserer Figur dargestellten Lage die Nadel gerade umkehren, also ihren Nordpol nach s bringen. Bei einem bestimmten Abstande des Stabes wird er dem Erdmagnetismus vollkommen das Gleichgewicht halten, die Nadel ist alsdann vollkommen astatisch; wenn man aber den Magnetstab mehr und mehr von der Nadel entfernt, so wird auch die richtende Kraft des Erdmagnetismus auf dieselbe wieder mehr zur Geltung kommen. Kurz man hat es auf diese Weise ganz in seiner Gewalt, durch Annähern oder Entfernen des Stabes NS die richtende Kraft der Erde beliebig zu verkleinern.

F. 30.



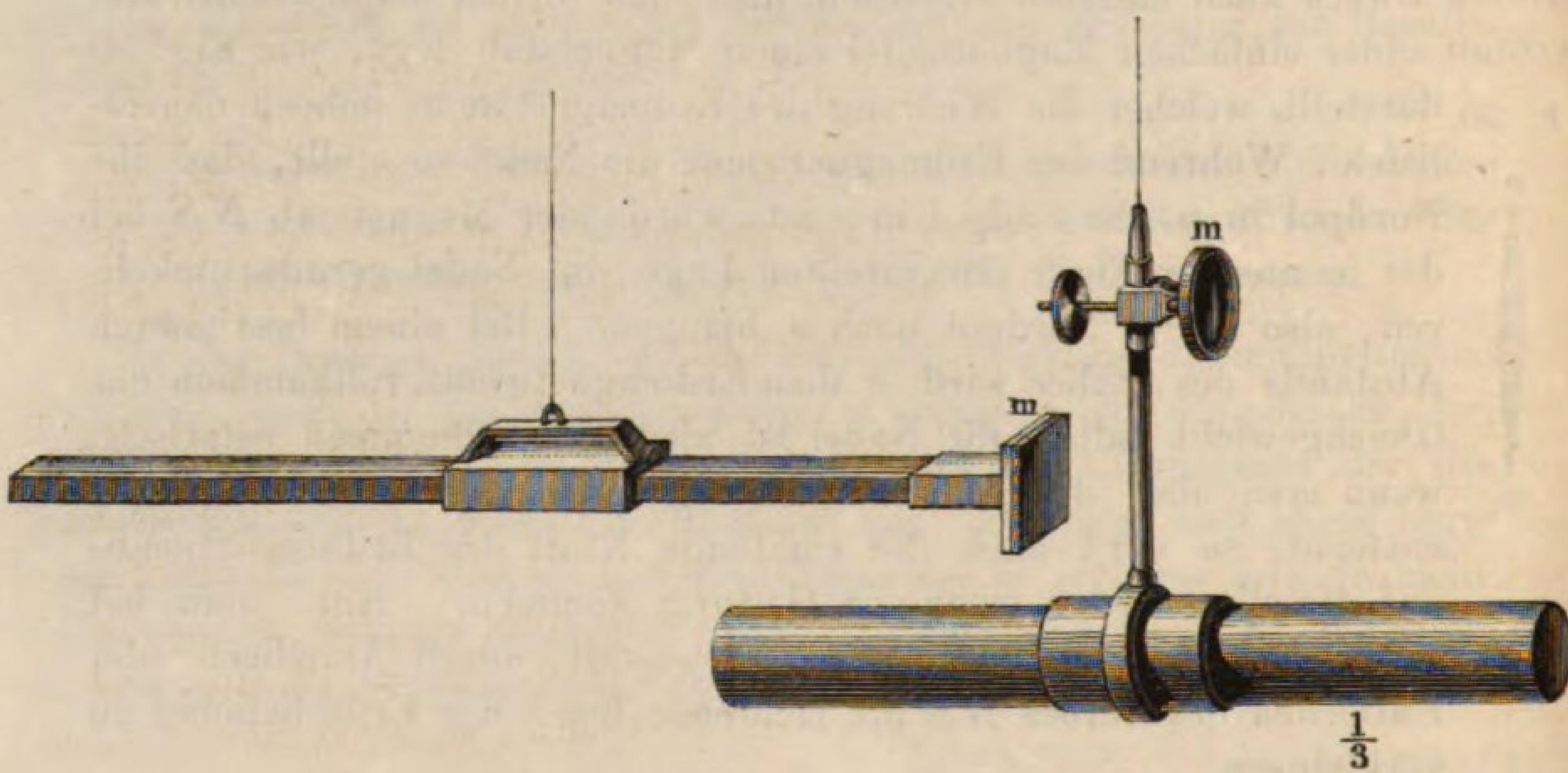
Das Magnetometer. Die Genauigkeit, mit welcher man die Lage des magnetischen Meridians mittelst einer Bussole bestimmen kann, hängt begreiflicher Weise unter Anderem auch von dem Durchmesser des getheilten Kreises, also von der Länge der Nadel ab; diese darf man aber nicht zu lang machen, weil sie sonst zu schwer und die Reibung auf der Stahlspitze zu gross wird. Somit ist begreiflich, dass man mit einer solchen Bussole keine bedeutende Genauigkeit erreichen kann; eine ganz neue Epoche für die Untersuchung der Gesetze des Magnetismus und namentlich des Erdmagnetismus begann deshalb, als Gauss durch die Construction seines Magnetometers es möglich machte, die Richtung der horizontalen Magnetnadel mit astronomischer Genauigkeit zu bestimmen und die geringsten Veränderungen derselben zu beobachten. Er erreichte dies dadurch, dass er statt der auf Spitzen spielenden Magnetnadel Magnetstäbe anwandte, welche er an einem Metalldrahte oder an einem Bündel ungedrehter Seidenfäden aufhing und an denselben die Poggendorff'sche Spiegelvorrichtung anbrachte. Der Spiegel m befindet sich entweder an dem einen Ende des Magnetstabes, wie bei dem Magnetometer, Fig. 31 (a. f. S.), oder er ist an der Aufhängevorrichtung angebracht, wie Fig. 32. 12

Dem Spiegel gegenüber, dessen Ebene, wie wir zunächst annehmen wollen, rechtwinklig auf der magnetischen Axe des Magnetstabes steht, wird in einer Entfernung von 5 bis 15 Fuss ein Theodolit aufgestellt, ungefähr wie es Fig. 33 (a. S. 29) angedeutet ist. Die optische Axe des Fernrohrs ist

etwas höher als der Magnetstab und so abwärts geneigt, dass sie gegen die Mitte des Spiegels gerichtet ist.

Am Stativ des Theodolits ist eine 1 Meter lange, in Millimeter getheilte horizontale Scala befestigt, die nahezu parallel mit dem horizon-

Fig. 31. Fig. 32.



talen Durchmesser des Spiegels ist. Derjenige Punkt *a* der Scala *ss*, welcher mit der optischen Axe des Fernrohrs in einer Verticalebene liegt und hier der Kürze wegen der Mittelpunkt heissen mag, wird durch einen vor der Mitte des Objectivs herabhängenden, mittelst eines Messingringes an der Fassung desselben befestigten, unten durch ein kleines Gewicht beschwerten feinen Draht von dunkler Farbe bezeichnet.

Die Scala ist in einer solchen Höhe befestigt, dass das Bild eines Theils derselben im Spiegel durch das Fernrohr gesehen wird.

Fig. 34 stellt einen Theil dieser Scala in natürlicher Grösse dar. Die Zahlen sind in der Weise verkehrt geschrieben, dass ihr Spiegelbild, durch das astronomische Fernrohr gesehen, aufrecht erscheint.

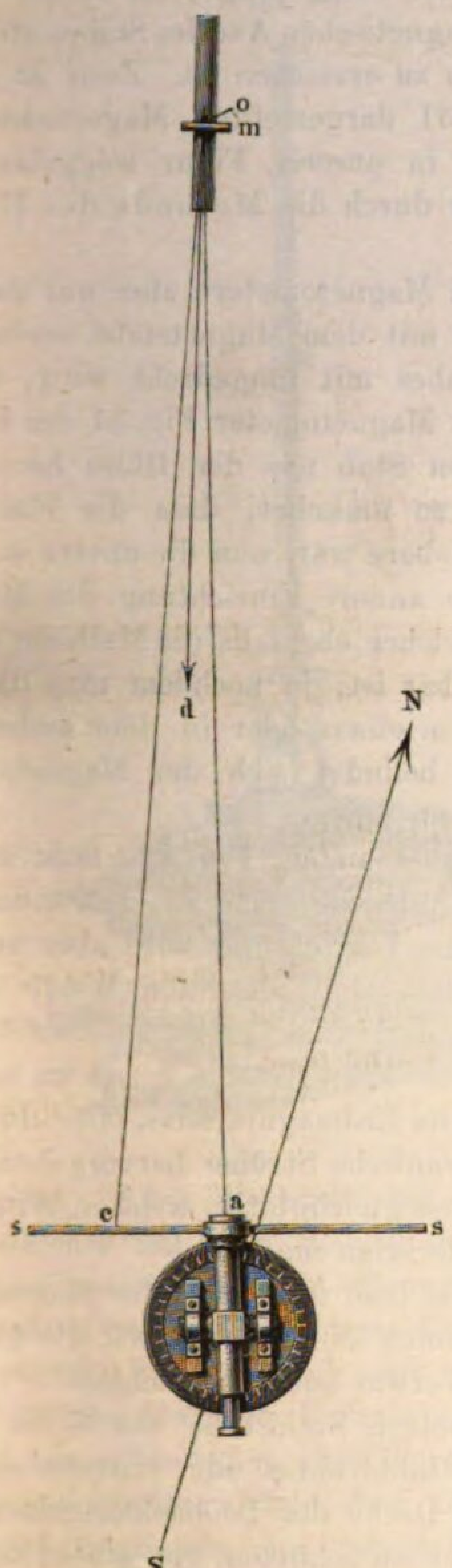
Die ganze Aufstellung ist nun so gemacht, dass die Verticalebene der optischen Axe des Fernrohrs, in welcher auch die verticale Drehungsaxe des Magnetstabes liegen muss, mit dem vorläufig annähernd genau bestimmten magnetischen Meridian zusammenfällt.

Wenn die Axe des Magnets wirklich genau mit der Verticalebene des Fernrohrs zusammenfällt, so erscheint das Bild des vor der Mitte der Scala hängenden Fadens in der Axe des Fernrohrs; sobald aber der Magnetstab aus dieser Ebene abweicht, erscheinen andere Theilstriche am verticalen Faden des Fadenkreuzes im Fernrohr, so dass man die geringste Abweichung mit Sicherheit erkennen und auch messen kann.

Erscheint statt des erwähnten Mittelpunktes *a* der Scala der Punkt *c* am Fadenkreuz, so wird der von *c* ausgehende Strahl *co* vom Spiegel in der Richtung *oa* reflectirt. Ein auf der Ebene des Spiegels errichtetes

Perpendikel *od* muss den Winkel *coa* halbiren; *doa* aber ist offenbar dem Winkel *v* gleich, um welchen der Spiegel, um welchen also auch die Axe des Magnetstabes aus der Ebene des vorläufig bestimmten magnetischen Meridians *ao* herausgedreht worden ist, dieser Winkel ist also gleich der Hälfte des Winkels *coa*.

Fig. 33.



Bezeichnen wir mit *n* die Anzahl der Millimeter, welche zwischen *a* und *c* liegen und mit *l* die in Millimetern ausgedrückte Entfernung *ao* des Spiegels von der Scala, so haben wir offenbar

$$tang\, v = \frac{n}{2\,l},$$

da ja der Winkel $coa = 2\,v$ noch klein genug ist, um die Tangenten den Winkeln proportional zu setzen.

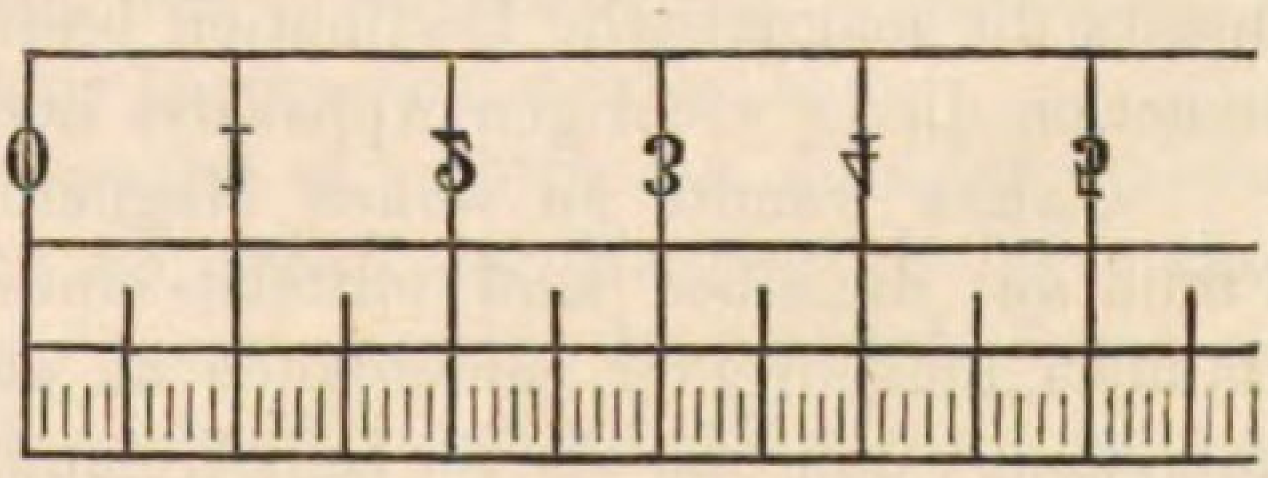
Wäre z. B. $ca = 10$ Mm. und $co = 5000$ Mm., so hätte man

$$tang\, v = \frac{10}{10000} = 0{,}001, \text{ also}$$

$v = 206$ Secunden. Für $n = 1$ Mm. wäre also $v = 20{,}6$ Secunden.

Ein geübtes Auge kann nun sehr gut noch Zehntel eines Millimeters schätzen; es ist also möglich, mittelst dieser Vorrichtung die Abweichung der Axe des Magnetstabes, also des wirklichen magnetischen Meridians, von der Ebene *ao* bis auf 2 Secunden genau zu bestimmen.

Fig. 34.



Hat man auf diese Weise den Winkel gemessen, welchen der magnetische Meridian *od* mit der Verticalebene *oa* der Fernrohraxe macht, so kann man nun leicht auch den genauen Werth der magnetischen Declination finden, wenn man mit Hülfe des Theodolits den Winkel misst, welchen die Verticalebene *ao* mit dem durch den Mittelpunkt des Theodolits

gelegten astronomischen Meridian *NS* macht, dessen Lage natürlich schon vorher ermittelt sein muss.

Das eben beschriebene Verfahren setzt voraus, dass die Ebene des Spiegels *m* genau rechtwinklig auf der magnetischen Axe des Stabes stehe, was wohl mit absoluter Genauigkeit kaum zu erreichen ist. Zwar ist die Stellung des Spiegels an dem in Fig. 31 dargestellten Magnetometer durch drei Schrauben regulirbar, welche in unserer Figur weggelassen sind; allein dieses Reguliren ist selbst nur durch die Methode des Umlegens möglich.

Die Methode des Umlegens kann bei Magnetometern aber nur dann angewandt werden, wenn der Spiegel fest mit dem Magnetstabe verbunden ist, so dass er beim Umlegen des Stabes mit umgedreht wird, wie dies z. B. bei dem Magnetometer Fig. 31 der Fall ist, wenn man den Stab aus der Hülse herausnimmt und ihn so umkehrt, dass die Fläche, welche zuerst die obere war, nun die untere wird. Fig. 35 zeigt eine andere Einrichtung des Magnetometers, bei welcher ebenfalls die Methode des Umlegens anwendbar ist; je nachdem man diese Vorrichtung in dem einen oder in dem anderen Haken aufhängt, befindet sich der Magnetstab über oder unter dem Spiegel.

Fig. 35.



Bei dem Magnetometer, Fig. 32, lässt sich die Methode des Umlegens nicht in Anwendung bringen; eine solche Vorrichtung wird aber auch nicht gebraucht, um den absoluten Werth der magnetischen Declination zu bestimmen, sondern nur, um die Variationen in der Richtung des Magnetstabes genau zu messen, welche entweder durch Aenderungen im Erdmagnetismus, oder durch andere Magnetstäbe oder auch durch galvanische Ströme hervorgebracht werden. Zu diesem Zwecke ist es auch ganz gleichgültig, welchen Winkel die Spiegelebene mit dem magnetischen Meridian macht.

Nachdem wir nun gesehen haben, wie man mit Hülfe des Magnetometers die magnetische Declination bestimmen kann, wollen wir die Construction dieses wichtigen Apparates noch etwas näher betrachten.

Gauss wandte zu seinen Magnetometern Stahlstäbe von 5 bis 25 Pfund an; dieselben sind mittelst eines Stahldrahtes oder mittelst eines Bündels umgedrehter Seidenfäden an der Decke des Beobachtungslocales aufgehängt und, um sie vor Luftströmungen zu schützen, von einem achteckigen Gehäuse umgeben, welches nur zwei Oeffnungen hat; die eine oben, um den Aufhängefaden durchzulassen, die andere an der Stelle der Seitenwand, welche dem Spiegel gegenübersteht, um durch dieselbe nach dem Spiegel hinsehen zu können. Letztere Oeffnung ist mit einer geschliffenen Glasplatte geschlossen.

Fig. 36 stellt ein von Leyser in Leipzig ausgeführtes transpor-

tabeles Magnetometer dar; wie an dem 18 Centimeter langen Magnetstabe die Spiegelvorrichtung angebracht ist, haben wir bereits in Fig. 32 gesehen. Ein Bündel ungedrehter Seidenfäden, welches den Magnetstab trägt, ist an der oberen Deckplatte des kupfernen Rohres *r* befestigt. Der Magnetstab selbst hängt in einem länglichen Gehäuse von starkem Kupferblech, welches oben ein Loch hat, um das Aufhängungsstäbchen durchzulassen und dessen seitliche Oeffnungen, welche in unserer Figur offen geblieben sind, damit man den Magnetstab besser sehen kann, durch Glasfenster geschlossen sind. Auch die Stelle bei *d* wird mit einem Blechcylinder umgeben, welcher nur dem Spiegel gegenüber eine mit einer geschliffenen Glasplatte verschlossene Oeffnung hat. Das Gehäuse, in welchem der Magnet spielt, ist mit mehreren Lagen von übersponnenem Kupferdraht umwickelt, dessen Zweck erst später besprochen werden kann.

Fig. 36.

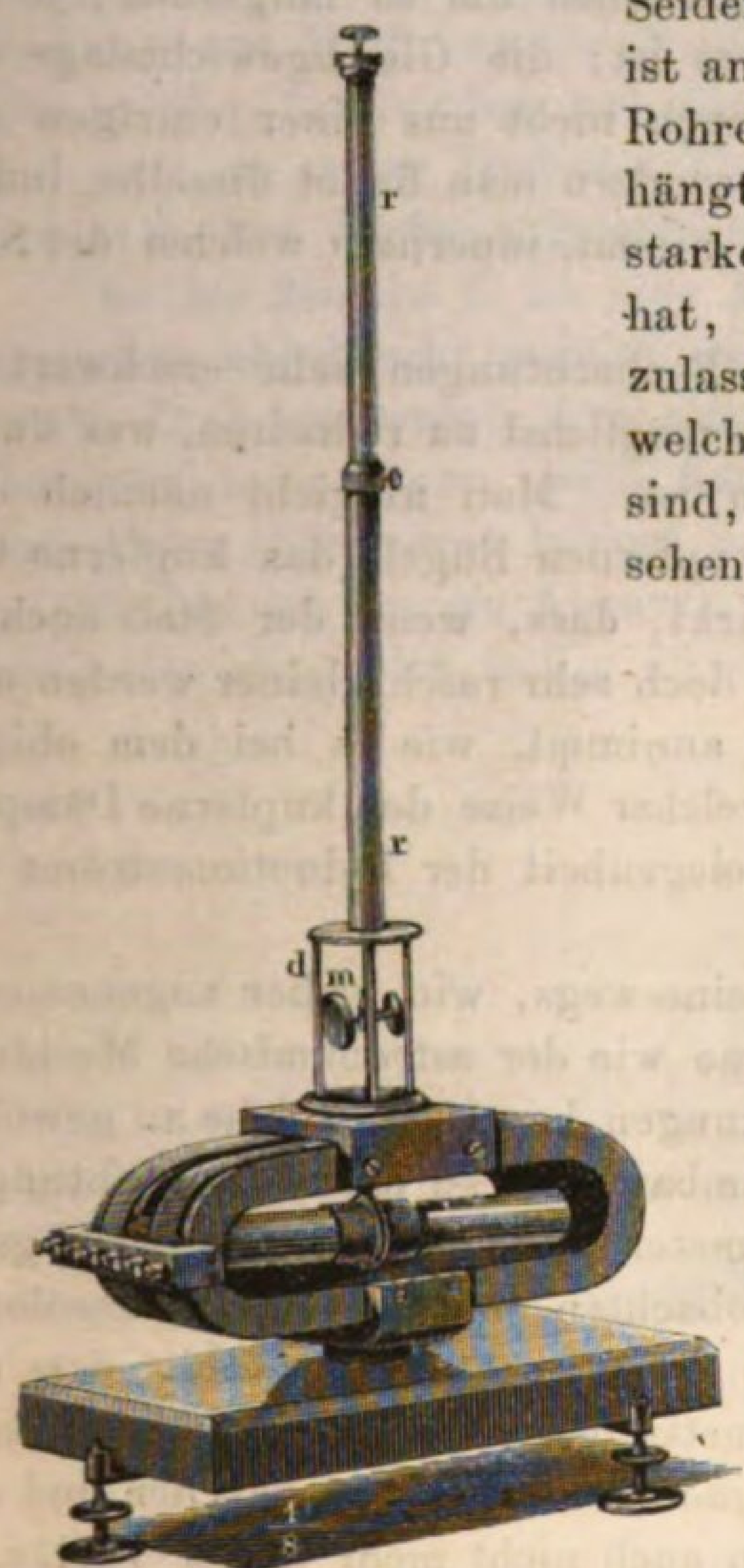
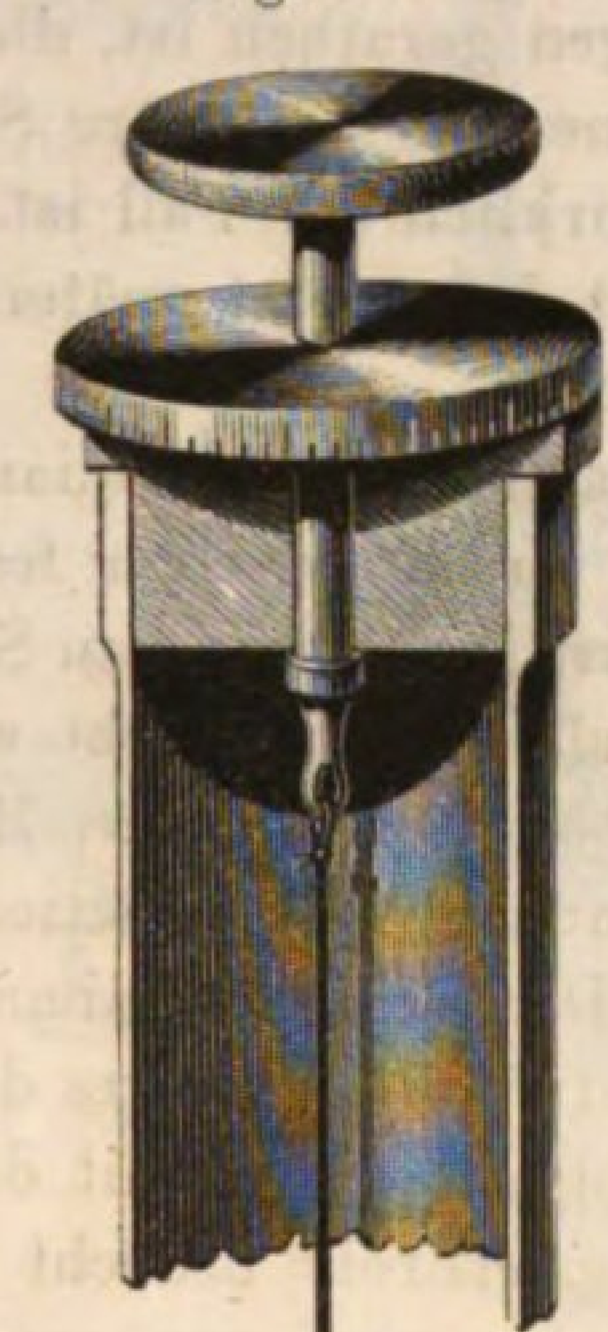


Fig. 37.



Bei genaueren Untersuchungen ist es nothwendig, dass der Aufhängefaden vollkommen ohne Torsion sei, wenn der Magnetstab im magnetischen Meridian steht, dass also, wenn man den Magnetstab durch einen nicht magnetischen, etwa durch einen Messingstab ersetzte, derselbe auch im magnetischen Meridian bliebe. Um nun zu machen, dass der Faden für die richtige Einstellung des Stabes wirklich torsionsfrei sei, muss man den oberen oder unteren Anknüpfungspunkt des Fadens so weit drehen können, bis diese Bedingung erreicht ist. Fig. 37 stellt die an dem Magnetometer Fig. 36 zu diesem Zwecke angebrachte Vorrichtung dar.

Was die Beobachtung des Magnetometers betrifft, so ist noch folgende wichtige Bemerkung zu machen: Der Magnetstab steht in der Regel nicht fest im magnetischen Meridian, sondern er oscillirt um seine Gleichgewichtslage, und zwar sind die Oscillationen um so langsamer, je bedeutender die Masse des Magnetstabes ist; die Gleichgewichtslage des Magnetstabes ergiebt sich demnach auch nicht aus einer einzigen Ablesung, wie oben angenommen wurde, sondern man findet dieselbe, indem man das Mittel zwischen den Grenzen nimmt, innerhalb welcher der Stab hin und her schwingt.

Da nun aber dieser Umstand die Beobachtungen sehr erschwert, so hat man gesucht, diese Schwankungen möglichst zu reduciren, was durch die sogenannte Dämpfung gelungen ist. Man umgiebt nämlich den Stab mit einem möglichst massiven kupfernen Bügel (das kupferne Gehäuse des Apparates), und dieser bewirkt, dass, wenn der Stab auch in Schwingungen gerathen ist, dieselben doch sehr rasch kleiner werden und der Stab eine fast stationäre Stellung annimmt, wie es bei dem obigen Apparate wirklich der Fall ist. In welcher Weise der kupferne Dämpfer dies bewirkt, kann erst später bei Gelegenheit der Inductionsströme erläutert werden.

Der magnetische Meridian ist keineswegs, wie bisher angenommen wurde, eine unveränderlich feste Ebene wie der astronomische Meridian, sondern er ist in beständigen Schwankungen begriffen, welche an gewöhnlichen Bussolen freilich nicht wahrnehmbar sind, zu deren Beobachtungen aber das eben beschriebene Magnetometer sich ganz vorzüglich eignet. Will man nun diese Variationen beobachten, nicht aber den absoluten Werth der Declination bestimmen, so ist es nicht mehr nöthig, dass der Spiegel rechtwinklig zur Axe des Magnetstabes befestigt ist; er kann dann jeden beliebigen Winkel mit dem magnetischen Meridian machen und das Beobachtungsfernrohr braucht alsdann auch nicht mehr in der Verlängerung des Stabes zu liegen, sondern kann seitlich aufgestellt werden, wie es eben bei den disponibelen Localitäten bequem ist.

13 **Das magnetische Theodolit.** Um auch auf Reisen die magnetischen Constanten bestimmen zu können, bedarf man solcher Apparate, welche bei möglichster Genauigkeit doch möglichst compendiös und leicht transportabel sind. In dieser Beziehung hat sich vor Allen Lamont durch die Construction seines magnetischen Reisetheodolits grosse Verdienste erworben.

Fig. 38 ist eine perspectivische Ansicht von Lamont's magnetischem Theodolit, wie er zu Declinationsbestimmungen dient. AA ist eine massive messingene Platte, welche, mit drei Stellschrauben zum Horizontalrichten versehen, auf ein passendes, in unserer Figur nicht dargestelltes Stativ gestellt wird. Mit dieser Platte unveränderlich verbunden ist die am Rande mit einem getheilten Silberringe versehene Scheibe BB. In Fig. 39 (a. S. 34) ist ein geometrischer Aufriss des Apparates in $^1/_2$ der

natürlichen Grösse und zwar zum Theil im Durchschnitt dargestellt. Durch die Höhlung der Platte *AA* hindurch geht eine verticale Axe, welche die Scheibe *C* trägt. Die Scheibe *C* kann in ihrer Ebene um diese verticale Axe gedreht werden, und diese Drehung mit Hülfe zweier Nonien (wovon der eine in Fig. 38 sichtbar ist), die an *C* befestigt sind und an seiner Drehung Theil nehmen, auf dem getheilten Kreise abgelesen werden.

Fig. 38.



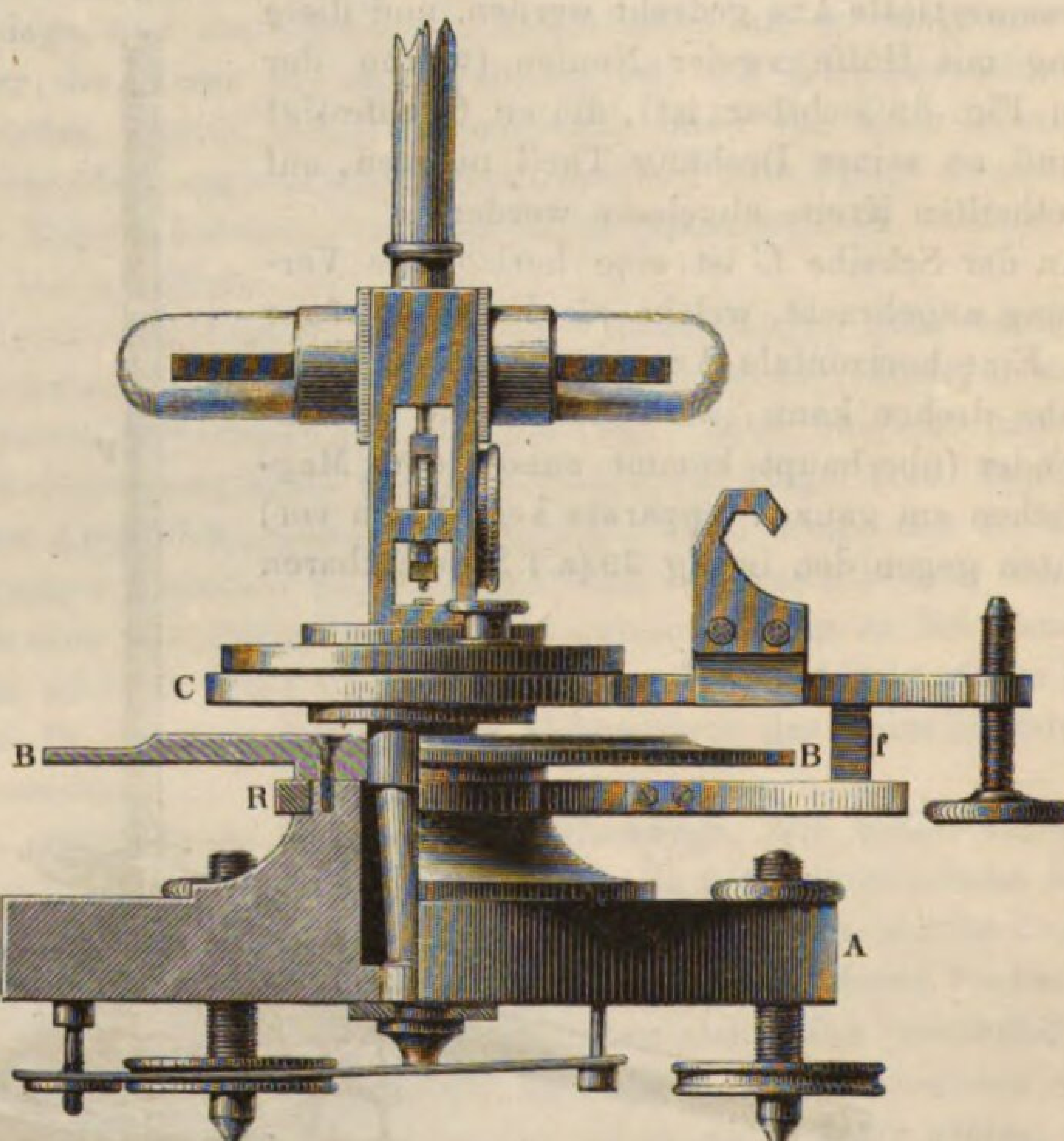
An der Scheibe *C* ist eine horizontale Verlängerung angebracht, welche als Fernrohrträger dient. Eine horizontale Axe, um welche sich das Fernrohr drehen kann, wird durch eine messingene Feder (überhaupt kommt ausser dem Magnetstäbchen am ganzen Apparate kein Eisen vor) von unten gegen den in Fig. 39 (a. f. S.) sichtbaren Haken angedrückt. Vor diesem Haken befindet sich noch eine Messingplatte, welche in Fig. 39 der Deutlichkeit wegen fortgeblieben ist, welche man aber in der perspectivischen Ansicht erkennt und welche dazu dient, eine seitliche Bewegung der Fernrohraxe zu verhindern. Ferner geht von dieser das Fernrohr tragenden Verlängerung noch ein Stäbchen *f* herab, welches zwischen eine Verlängerung des Ringes *R* und eine an denselben angeschraubte Messingfeder hineinpasst.

Dieser Ring *R*, welcher, um den Träger des getheilten Kreises herumgelegt, um denselben sich frei drehen lässt, ist in Fig. 40 im Grundriss dargestellt. Durch Anziehen der Klemmschraube *S* wird der Ring *R* festgestellt und dadurch auch eine weitere Umdrehung der Scheibe *C* mit Allem, was daran befestigt ist, verhindert; eine feinere Einstellung geschieht dann mittelst der Stellschraube *T*.

Auf die Scheibe *C* wird nun, nachdem man dieselbe mit Hülfe einer

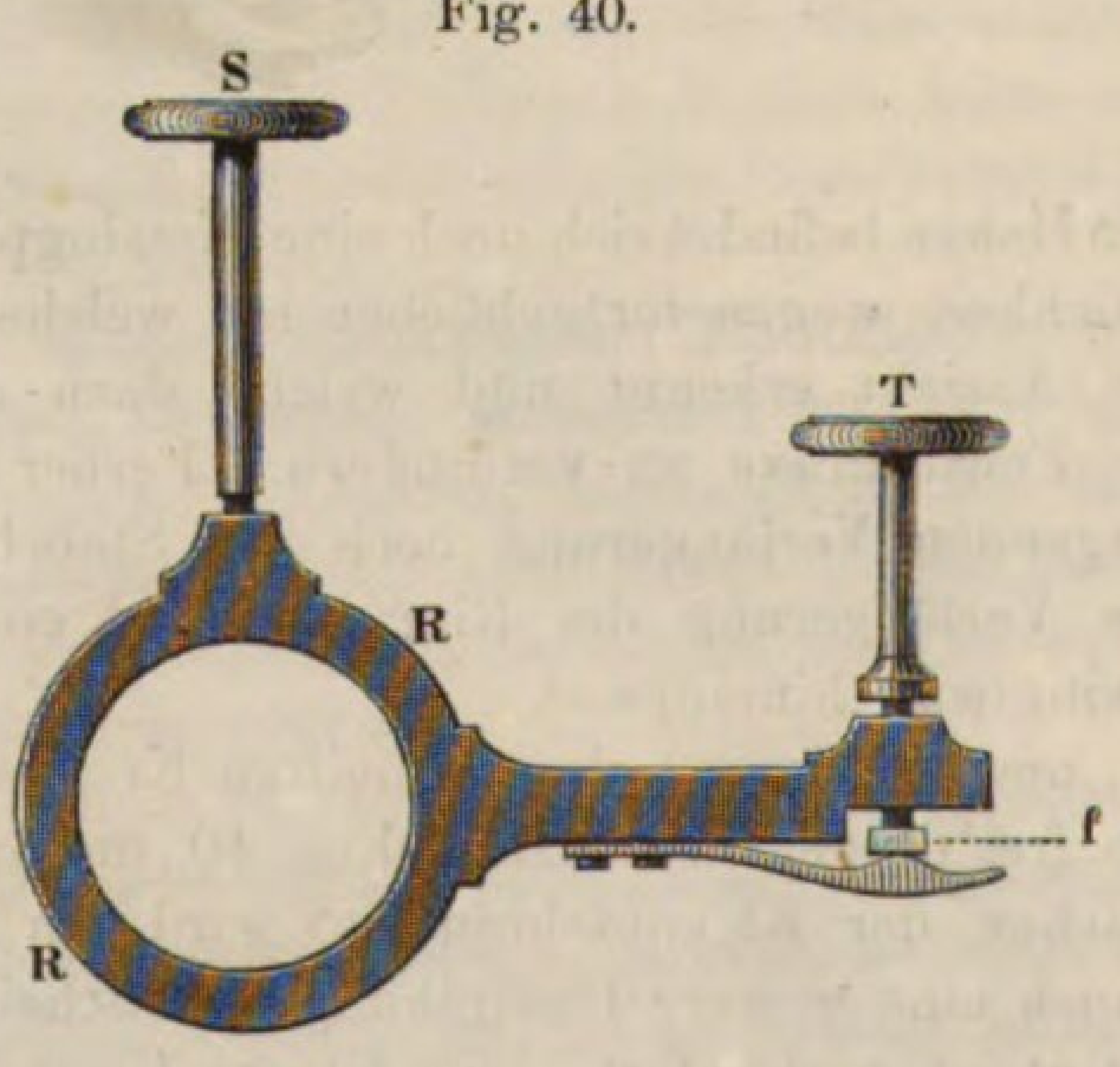
Wasserwage und der drei Stellschrauben der Platte A horizontal gestellt hat, das Magnetgehäuse aufgeschraubt. Der Raum, in welchem das Mag-

Fig. 39.



netstäbchen selbst spielen kann, wird durch zwei an den Enden zugeschmolzene Glasröhrchen gebildet. Es wird von einem in der Messingröhre F, Fig. 38, herabhängenden Seidenfaden getragen. Der Spiegel befindet sich unterhalb des Magnets. Ihm gegenüber ist das Gehäuse, welches auch seitliche, mit Glasplatten geschlossene Oeffnungen hat, mit einer Platte von geschliffenem Spiegelglas geschlossen.

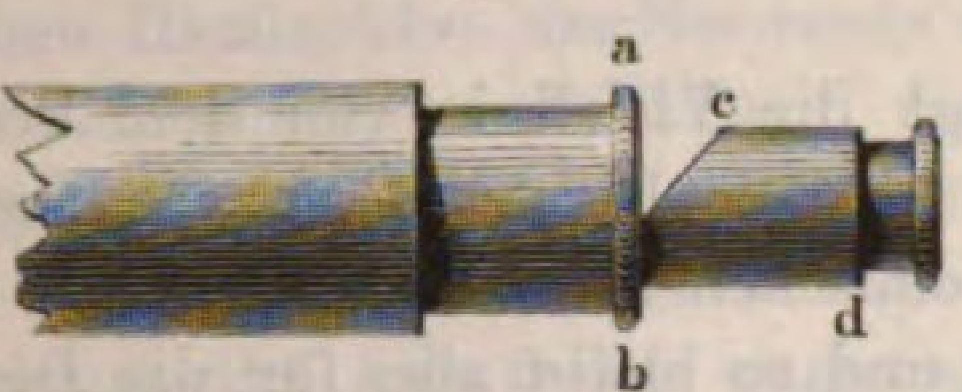
Fig. 40.



Wenn man die Scheibe C sammt dem Magnetgehäuse um ihre verticale Axe so dreht, dass die horizontale Axe der beiden Glasröhren ab

ungefähr in den magnetischen Meridian zu stehen kommt, so kann nun der Magnet frei spielen und sich in den magnetischen Meridian einstellen. Nehmen wir an, dass die Ebene des Spiegels genau rechtwinklig

Fig. 41.



steht auf der magnetischen Axe des Magnetstabes, so wird eine auf der Ebene des Spiegels normale Linie die Richtung des magnetischen Meridians angeben. Dies vorausgesetzt, wird nun der Apparat so eingestellt, dass die Normale der Spiegelebene mit der Axe des Fernrohres zusammenfällt, dessen eigenthümliche Einrichtung aus Fig. 41 deutlicher zu ersehen ist.

Das Objectiv des Fernrohres ist dem Spiegel zugewendet. Da wo das vom Objectiv entworfene Bild entsteht, bei *ab*, Fig. 41, ist das Rohr durch eine Glasplatte verschlossen, auf welcher eine senkrechte und eine wagerechte feine Linie eingeritzt sind, welche die Stelle des Fadenkreuzes vertreten. Das Ocular steckt in der Hülse *cd*, welche von oben her zur Hälfte eingeschnitten ist, so dass man in diesen Einschnitt eine Platte von unbelegtem Spiegelglas legen kann. Dieser kleine Spiegel dient zur Erleuchtung des Fadenkreuzes. Ist der Apparat nahezu in die richtige Lage gebracht, so erblickt man, durch das Ocular schauend, den verticalen Strich einmal direct und dann noch sein Bild im Spiegel des Magnets. Mit Hülfe der Stellschraube *T*, Fig. 40, kann man es aber nun leicht dahin bringen, dass die beiden Bilder des verticalen Striches zusammenfallen, und wenn dies der Fall ist, so steht in der That die Axe des Fernrohres normal auf der Spiegelebene, sie steht also im magnetischen Meridian.

Ist auf diese Weise die Axe des Fernrohres in die Ebene des magnetischen Meridians eingestellt, so wird der Nonius abgelesen, dann das Magnetgehäuse vom Theodolit abgehoben und die Scheibe *C* sammt dem Fernrohre um die verticale Axe gedreht, bis die Visirlinie des Fernrohres in dem astronomischen Meridian steht, bis es also auf ein für den Beobachtungsort bestimmtes Meridianzeichen gerichtet ist, und nun abermals der Nonius abgelesen. Der Unterschied dieser beiden Ablesungen ergiebt dann die gesuchte Declination.

Wenn, wie es wohl meistens der Fall ist, für den Ort, wo das magnetische Theodolit aufgestellt wurde, gerade kein Meridianzeichen vorhanden ist, so richtet man das Fernrohr auf irgend einen entfernten Punkt, dessen Azimut für den Beobachtungsort entweder schon bekannt ist, oder aus genauen Karten ermittelt werden kann, und bestimmt also den Winkel, welchen der magnetische Meridian mit der nach dem fraglichen Orte gerichteten Visirlinie macht.

So fand z. B. Lamont, als er am 7. October 1852 auf dem Schlossberge bei Freiburg sein Theodolit aufgestellt hatte und die Visirlinie des Fernrohres rechtwinklig auf der Ebene des Magnetspiegels stand, dass

der Nonius auf 308° 22,6′ zeigte. Nach Abnahme des Magnetgehäuses wurde das Fernrohr auf die Spitze des Kirchthurms von Langendenzlingen (ungefähr 2 Stunden nördlich von Freiburg) gerichtet, und nun zeigte der Nonius auf 278° 14,3′; der Unterschied der beiden Ablesungen beträgt also 30° 8,3′.

Den Generalstabskarten zufolge liegt die Visirlinie von dem Beobachtungspunkte auf dem Schlossberge nach dem Kirchthurme von Denzlingen noch 12° 43′ östlich vom astronomischen Meridian; diese 12° 43′ sind nun noch von 30° 8,3′ abzuziehen, und so bleibt also für die Declination der Werth 17° 25,3′.

Dies wäre der wahre Werth der Declination, wenn die Ebene des Spiegels absolut rechtwinklig auf der magnetischen Axe des Magnets stände, was mit voller Genauigkeit nie erreichbar ist. Der magnetische Reisetheodolit ist nicht so eingerichtet, dass man den Magnet umlegen und alsdann mittelst einer zweiten Messung den Collimationsfehler eliminiren kann; dagegen ist die Grösse dieses Fehlers durch genaue Messung in einem magnetischen Observatorium, für welches die Lage des magnetischen Meridians bereits ermittelt ist, ein- für allemal bestimmt. Für das fragliche Instrument, mit welchem Lamont die obigen Messungen ausführte, beträgt er + 14,5′, und diese sind noch zu 17° 25,3′ zu addiren, um den wahren Werth der Declination für Freiburg zu finden, welcher demnach 17° 39,8′ ist.

14 **Variationen der Declination und Inclination.** Es ist bereits früher bemerkt worden, dass die Lage des magnetischen Meridians fortwährenden Schwankungen unterworfen ist. Diese Schwankungen sind bald zufällig und plötzlich, bald regelmässig und periodisch. — Die ersteren nennt man Störungen, die letzteren Variationen. Im Allgemeinen beobachtet man in unseren Gegenden folgenden Gang der täglichen Variationen. Während der Nacht ist die Nadel fast stationär, mit Sonnenaufgang aber fängt das Nordende der Nadel an, sich nach Westen zu bewegen. Gegen 5 Uhr Nachmittags erreicht die westliche Ablenkung ihr Maximum, die Nadel geht dann bis 9, 10 oder 11 Uhr Abends nach Osten zurück.

Die Amplitude der täglichen Variationen, d. h. der Winkel zwischen dem östlichsten und westlichsten Stande der Nadel, ist veränderlich; sie ist in den Sommermonaten am grössten. Ihr Mittelwerth beträgt in Deutschland vom April bis zum September 13 bis 15 Minuten, vom October bis zum März nur 8 bis 10 Minuten. An manchen Tagen beträgt die Amplitude 25′, an anderen dagegen nur 5′ bis 6′.

In nördlichen Gegenden sind im Allgemeinen die täglichen Variationen bedeutender und weniger regelmässig. Je mehr man sich dagegen dem magnetischen Aequator nähert, desto mehr nimmt die Grösse der täglichen Variationen ab, und auf dem magnetischen Aequator selbst ist sie ganz unmerklich.

Südlich vom magnetischen Aequator finden die täglichen Variationen in entgegengesetzter Richtung statt, d. h. hier bewegt sich das Südende der Nadel nach Westen, während nördlich vom magnetischen Aequator das Nordende sich nach dieser Richtung bewegt; und wenn auf der nördlichen Hemisphäre das Nordende der Nadel sich nach Osten bewegt, so hat auf der südlichen Halbkugel das Südende der Nadel eine östliche Bewegung.

Die Beobachtung der täglichen Variationen erfordert sehr genaue Instrumente. Alle früher angewandten werden in dieser Hinsicht von dem schon oben beschriebenen Gauss'schen Magnetometer übertroffen, welches die geringsten Veränderungen in der Lage der Magnetnadel angiebt.

Auch die Inclination ist solchen täglichen Variationen unterworfen, wie dies zuerst Graham im Jahre 1772 beobachtet hat, jedoch ist die Amplitude dieser Variationen geringer als bei der Declination, und sie lassen sich überhaupt bei weitem nicht mit der Genauigkeit beobachten, wie die Variationen der Declination.

Abgesehen von diesen täglichen Variationen, ist aber auch der Mittelwerth der Declination allmäligen sehr bedeutenden Veränderungen unterworfen. So war z. B. die Declination für Paris

im Jahre 1580	. . .	11°	30′	östlich	
„ „ 1663	. . .	0	0		
„ „ 1780	. . .	19	55	westlich	
„ „ 1814	. . .	22	34	„	

Seit 1814 hat aber die westliche Declination zu Paris fortwährend abgenommen und jetzt beträgt sie nur noch gegen 19°.

Solche an längere Perioden gebundene Veränderungen der Declination nennt man zum Unterschiede von den täglichen secularе Variationen.

Die Inclination ist ebenso wie die Declination täglichen und secularen Variationen unterworfen. Für Paris betrug die Inclination im Jahre 1671 noch 75°; seitdem hat sie fortwährend abgenommen und beträgt daselbst gegenwärtig nur noch ungefähr $66\frac{1}{2}$°.

Wenn auch die früheren Bestimmungen nicht sehr genau sind, so ist doch eine fortwährende Abnahme der Inclination bewiesen.

Störungen der Magnetnadel. Es giebt verschiedene Ein- 15
flüsse, welche plötzlich die Regelmässigkeit der täglichen Variationen stören, indem sie die Magnetnadel in unregelmässige Schwankungen versetzen, deren Amplitude oft mehr als einen Grad beträgt. Unter allen diesen Einflüssen wirkt das Nordlicht am stärksten. Wenn dieses Meteor am Himmel erscheint, ist die Magnetnadel in beständiger Bewegung und erleidet eine bedeutende Ablenkung. Die Nadel ist aber nicht allein an den Orten bewegt, wo gerade das Nordlicht sichtbar ist, sondern auch

noch an weit entfernten Orten, wo man keine Spur des Nordlichts am Himmel sieht. Im Allgemeinen jedoch sind die Schwankungen um so stärker, je näher man dem Phänomen ist und je intensiver es erscheint.

Erdbeben und vulcanische Eruptionen scheinen auch auf die Nadel einzuwirken, und manchmal haben sie eine permanente Veränderung ihrer Lage zur Folge. So sah D. Bernouilli im Jahre 1767, dass während eines Erdbebens die Inclination um $^1/_2$ Grad abnahm, und bei einem Ausbruch des Vesuvs bemerkte Pater de la Torre, dass sich die Declination bedeutend änderte.

16 **Intensität des Erdmagnetismus.** Einer der wichtigsten Punkte für die Thorie des Erdmagnetismus ist die Bestimmung seiner Intensität an verschiedenen Orten der Erde und zu verschiedenen Zeiten. Erst in neuerer Zeit sind darüber genaue Untersuchungen angestellt worden. Borda gab zuerst eine genaue Methode an, um die Intensitäten des Erdmagnetismus verschiedener Orte mit einander zu vergleichen, und Humboldt wandte diese Methode auf seiner Reise nach Amerika, sowie auf einer anderen Reise durch Frankreich, Italien und Deutschland an. Gauss endlich gab eine Methode an, die Intensität der magnetischen Erdkraft auf ein absolutes Maass zurückzuführen.

Borda's Methode besteht darin, die Oscillationsdauer einer und derselben Nadel an verschiedenen Orten zu beobachten, und aus der Veränderung der Schwingungsdauer auf die Aenderung der Intensität des Erdmagnetismus zu schliessen. Eine Magnetnadel, eine Declinationsnadel sowohl wie eine Inclinationsnadel, aus ihrer Gleichgewichtslage etwas entfernt und dann sich selbst überlassen, oscillirt wie ein Pendel, und in der That sind auch diese Oscillationen ganz den Gesetzen unterworfen, welche wir früher für das gewöhnliche Pendel kennen gelernt haben; nur ist hier der Magnetismus, dort die Schwere die Ursache der Schwingungen. Wir haben dort gesehen, dass sich die Schwingungszeiten umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus den beschleunigenden Kräften verhalten, dass also die beschleunigenden Kräfte den Quadraten der Schwingungszahlen direct proportional sind. Wenn also eine und dieselbe Nadel etwa an einem Orte doppelt so schnell oscillirte als am anderen, so wäre also hier die magnetische Kraft 4mal so gross als dort.

Es sei M die magnetische Kraft, welche an einem Orte die Schwingungen der Nadel erzeugt, und N die Anzahl der Oscillationen, welche sie in einer gegebenen Zeit, etwa in 5 Minuten, macht; ferner sei m die beschleunigende Kraft, welche an einem zweiten Orte auf dieselbe Nadel wirkt, und n die Zahl der Oscillationen, welche sie in derselben Zeit, also auch in 5 Minuten, macht, so hat man

$$\frac{M}{m} = \frac{N^2}{n^2}.$$

Hätte man z. B. am ersten Orte $N = 25$, am zweiten $n = 24$ gefunden, so hätte man

$$\frac{M}{m} = \frac{625}{576} = 1{,}085,$$

das heisst, wenn man die magnetische Kraft, welche am zweiten Orte auf die Nadel wirkt, zur Einheit nimmt, so ist diese Kraft am ersten Orte 1,085.

Wenn man nun annehmen kann, dass sich der magnetische Zustand der Nadel von einem Versuch zum anderen nicht geändert habe, so findet man auf diese Weise das Verhältniss der erdmagnetischen Kraft für zwei verschiedene Orte der Erde.

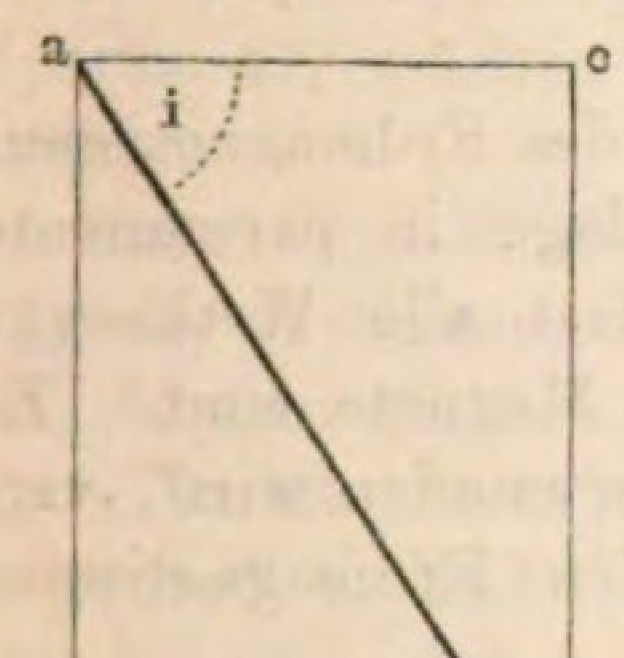
Um die Intensität der ganzen magnetischen Erdkraft für verschiedene Orte direct mit einander zu vergleichen, müsste man zu diesen Oscillationsversuchen natürlich Inclinationsnadeln anwenden. Weil aber Versuche mit diesen immer weniger genaue Resultate geben, so zieht man vor, Oscillationsversuche mit der Declinationsnadel zu machen, die Inclination zu messen und aus diesen Daten die totale Intensität zu berechnen.

Die Kraft, welche die Declinationsnadel oscilliren macht, ist nur ein Theil der ganzen magnetischen Erdkraft, und zwar ist dieser Antheil um so kleiner, je grösser die Inclination ist.

Wenn mit M die in der Richtung der Inclinationsnadel wirkende ganze magnetische Erdkraft ab, Fig. 42, und mit i die Inclination bezeichnet wird, so ist $M . \cos i$ die horizontale Composante ac derselben, also die Kraft, welche die Declinationsnadel oscilliren macht. Bezeichnet aber m die horizontale Composante der magnetischen Erdkraft, so ist $\frac{m}{\cos i}$ die totale.

Wenn man die Resultate der Intensitätsbestimmungen zusammenstellt, welche an verschiedenen Orten der Erdoberfläche gemacht worden sind, so ergiebt sich das allgemeine Resultat, dass die totale Intensität in der Nähe des magnetischen Aequators am kleinsten ist und dass sie um so mehr wächst, je mehr man sich von demselben nach Norden oder Süden entfernt. In der Nähe der magnetischen Pole ist sie ungefähr 1,5mal so gross als am Aequator. An einem und demselben Orte ist aber die Intensität auch veränderlich und wie die Declination und Inclination täglichen und secularen Variationen unterworfen.

Fig. 42.



Die Schwingungsmethode giebt nur die Verhältnisszahlen der erdmagnetischen Kraft, ohne sie auf ein absolutes Maass zurückzuführen. Ausserdem hat diese Methode noch den Nachtheil, dass man nicht immer sicher sein kann, ob der

magnetische Zustand der Nadel selbst sich nicht geändert habe, und man also Gefahr läuft, Veränderungen in diesem Zustande den Veränderungen der erdmagnetischen Kraft zuzurechnen. Von allen diesen Mängeln ist die Gauss'sche Methode der Intensitätsbestimmung frei; wir wollen in einem der nächsten Paragraphen versuchen, die Grundsätze derselben auseinander zu setzen, so weit es auf elementare Weise möglich ist.

17 **Einfluss des Erdmagnetismus auf das Eisen.** Wenn man eine Stange von weichem Eisen in die Richtung der Inclinationsnadel hält, so wird sie durch den Einfluss des Erdmagnetismus selbst magnetisch, und zwar wird ihr oberes Ende ein Südpol, ihr unteres ein Nordpol, wie man leicht sehen kann, wenn man eine kleine empfindliche Magnetnadel bald dem oberen, bald dem unteren Ende der Stange nähert. Derselbe Pol der Nadel wird von dem einen Ende des Stabes angezogen, von dem anderen abgestossen. Kehrt man den Stab um, so sind sogleich auch seine Pole umgekehrt, das obere Ende ist wieder ein Südpol, das untere wieder ein Nordpol.

Dieselbe Wirkung, nur etwas schwächer, bringt auch der Erdmagnetismus auf eine vertical hängende Eisenstange hervor, überhaupt auf jede Eisenstange, welchen Winkel sie auch mit der Richtung der Inclinationsnadel macht, nur ist die Wirkung um so geringer, je mehr sie sich von der Richtung der Inclinationsnadel entfernt.

Ist I die Intensität des Magnetismus, welche ein Stab annimmt, wenn er in der Richtung der Inclinationsnadel gehalten wird, so wird $I \cos \alpha$ die Intensität seines Magnetismus sein, wenn er einen Winkel α mit der Richtung der Inclinationsnadel macht.

In gleicher Weise wie auf einen Eisenstab wirkt der Erdmagnetismus inducirend überhaupt auf jede Eisenmasse.

Eisenstäbe, welche Jahre lang in unveränderter Weise dem magnetisch vertheilenden Einfluss der Erde ausgesetzt blieben, zeigen oft permanenten Magnetismus.

Stahlstäbe, welche der vertheilenden Wirkung des Erdmagnetismus ausgesetzt sind, werden durch einige Hammerschläge in permanente Magnete verwandelt, und daher kommt es, dass fast alle Werkzeuge einer Schlosserwerkstätte mehr oder minder starke Magnete sind. Es scheint, dass durch den Stoss die Coërcitivkraft überwunden wird, vermöge deren das Stahl der Magnetisirung durch den Erdmagnetismus widersteht.

Wenn man einen Hufeisenmagnet in Eisenfeile taucht, so hängt sich zwischen den Polen ein Bündel derselben an; wenn man sie nun mit Wasser befeuchtet und dann mittelst einer Weingeistflamme und eines Löthrohres zum Glühen erhitzt, während sie noch immer dem vertheilenden Einflusse des Magnets ausgesetzt sind, so geht eine theilweise Oxydation

des Eisens vor sich, man erhält eine ziemlich compacte Masse, deren Zusammensetzung der der natürlichen Magnete ähnlich und welche ebenfalls bleibend magnetisch ist.

Der eben beschriebene Versuch rührt von Kessler her. Eine schöne Abänderung desselben ergiebt sich, wenn man statt der gewöhnlichen Eisenfeile das feine Eisenpulver der Apotheken in Anwendung bringt. Taucht man die Pole eines Hufeisenmagnets in dieses Eisenpulver, so bleibt an ihnen ein Bündel hängen, wie es Fig. 43 andeutet. Dieses so am Magnet anhängende Bündel Eisenpulver brennt nun, wie Magnus gezeigt hat, für sich ohne Weiteres fort, wenn man es einmal, etwa mit Hülfe eines Streichhölzchens, angezündet hat. Ist nach einiger Zeit die bis dahin langsam fortglimmende Masse erloschen, so ist sie nun auch in einen bleibenden Magnet verwandelt, dessen Theilchen noch besser zusammenhängen als man es bei der zuerst beschriebenen Form des Versuchs erreichen kann.

Fig. 43.



Bestimmung der Inclination. Die Inclination lässt sich nicht 18
so leicht direct mit Genauigkeit bestimmen als die Declination, weil es ungemein schwierig ist, zuverlässige Inclinatorien zu construiren, weshalb denn auch diese Instrumente sehr kostspielig und für öfteren Transport wenig geeignet sind. Man hat deshalb auf mannigfache Weise versucht, die Inclination auf indirectem Wege zu bestimmen. Brugmann sprach zuerst die Idee aus, den durch den Erdmagnetismus im weichen Eisen inducirten Magnetismus zur Inclinationsbestimmung anzuwenden.

Nach Lloyd's Versuchen ist die magnetisch inducirende Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus auf einen Eisenstab wirkt, oder, mit anderen Worten, das magnetische Moment, welches durch den Erdmagnetismus in einem Eisenstab hervorgerufen wird, dem Cosinus des Winkels proportional, welchen der Stab mit der Richtung der Inclinationsnadel macht.

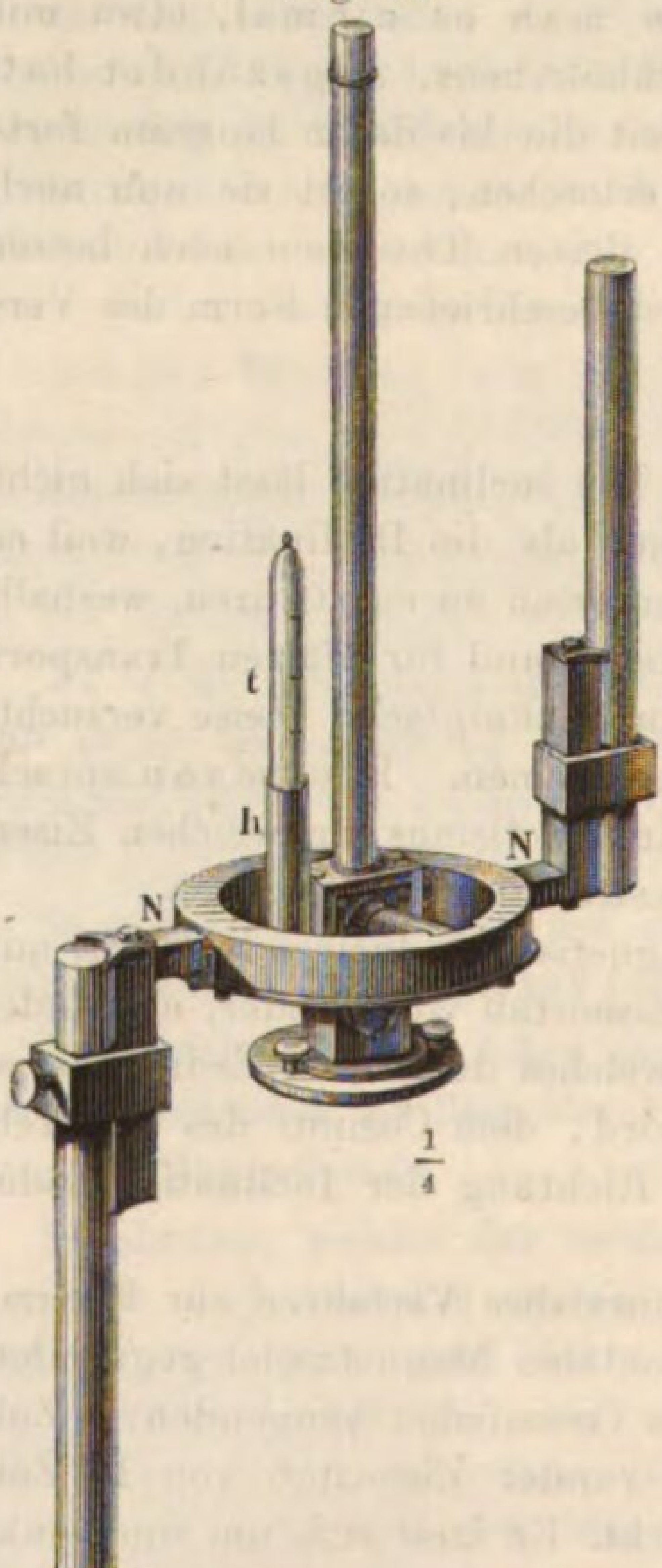
Darauf hat nun Lloyd ein sehr sinnreiches Verfahren zur Bestimmung der Inclination mittelst einer horizontalen Magnetnadel gegründet. Oestlich oder westlich von einer, an einem Coconfaden hängenden, 3 Zoll langen horizontalen Magnetnadel ist ein runder Eisenstab von 12 Zoll Länge und $^3/_4$ Zoll Durchmesser angebracht. Er lässt sich um eine senkrecht zu seiner Länge und rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian stehende Axe drehen, welche die Länge der Magnetnadel halbirt. Das eine Ende des Eisenstabes stösst gerade an diese Umdrehungsaxe an, so dass es beständig in der Horizontalebene der Nadel bleibt. Dieser Stab wird nun einmal vertical gestellt und dann durch eine Drehung um 90° in eine horizontale Lage gebracht. In beiden Lagen lenkt er die Nadel

aus ihrer Gleichgewichtslage ab, und wenn man diese Ablenkungen genau beobachtet hat, so kann man daraus die Stärke der magnetischen Induction bei horizontaler und bei verticaler Stellung des Stabes und aus dem Verhältniss beider die Inclination ableiten.

In anderer Weise hat Lamont die magnetische Induction im weichen Eisen benutzt, um an seinem magnetischen Reisetheodolit eine Vorrichtung zur indirecten Bestimmung der magnetischen Inclination anzubringen.

In Fig. 44 ist das Magnetgehäuse sammt der Inclinationsvorrichtung dargestellt. Auf das Magnetgehäuse wird zunächst eine Messingplatte aufgesetzt, welche eine Hülse *h* zum Einstecken eines Thermometers *t* trägt. Auf diese Scheibe wird der massive Messingring *NN* aufgesetzt, welcher, oben und unten eben abgeschliffen, überall möglichst von gleicher Dicke ist; dieser Ring trägt seitlich zwei Arme, von denen der eine aufwärts, der andere abwärts gerichtet ist.

Fig. 44.



In diese zwei Arme werden zwei runde Stäbe von weichem Eisen eingesteckt und mittelst entsprechender Schrauben festgeklemmt.

Bevor man den Ring mit den Eisenstäben aufsetzt, wird das Instrument gerade so eingestellt, wie zu einer Declinationsbestimmung, d. h. so, dass wenn man in das Fernrohr schaut, das durch den Magnetspiegel reflectirte Bild des verticalen Fadens mit dem direct gesehenen zusammenfällt. Nun wird der Ring mit den Eisenstäben auf das Magnetgehäuse gesetzt, und zwar so, dass die Verticalebene der beiden Stäbe, durch die Mitte des Magnetstäbchens gehend, auf dem magnetischen Meridian rechtwinklig steht.

In der Höhe des Magnetstäbchens befindet sich nun auf der einen Seite ein Nordpol (das untere Ende des nach oben gekehrten Eisenstabs), auf der anderen ein Südpol (das obere Ende des nach unten gekehrten Eisenstabs), und diese beiden magnetischen Pole bewirken in gleichem Sinne eine Ablenkung des Magnetstäbchens aus dem magnetischen Meridian. Die Grösse dieser Ablenkung erfährt man, wenn man die Platte *C*,

Fig. 39, sammt Allem, was darauf und daran befestigt ist, um ihre verticale Axe dreht, um dem abgelenkten Magnetstäbchen zu folgen, bis die Axe des Fernrohrs wieder rechtwinklig steht auf der Ebene des Magnetspiegels, bis also die beiden Bilder des verticalen Fadens wieder zusammenfallen, wenn man in das Ocular des Fernrohrs hineinschaut.

Liest man jetzt den Nonius abermals ab, so giebt die Differenz dieser und der ersten Ablesung die Grösse des Winkels, um welchen die Magnetnadel durch den Einfluss des in den beiden Eisenstäben inducirten Magnetismus aus dem magnetischen Meridian abgelenkt worden ist. Wir wollen diesen Ablenkungswinkel mit v bezeichnen und zunächst sehen, in welchem Zusammenhange der Werth dieses Winkels v mit der Inclination i steht.

Es sei X die horizontale und Y die verticale Composante des Erdmagnetismus, so ist die Kraft, mit welcher der horizontale Erdmagnetismus das um den Winkel v aus dem magnetischen Meridian abgelenkte Magnetstäbchen in denselben zurückzuziehen strebt, gleich $X . \sin v$.

Der in den beiden Eisenstäben inducirte Magnetismus, also auch das Drehungsmoment, welches sie auf das Magnetstäbchen ausüben, ist aber dem verticalen Erdmagnetismus proportional, dieses Drehungsmoment ist also KY, wenn durch K ein constanter Factor bezeichnet wird. Dieses Drehungsmoment hält aber der Kraft das Gleichgewicht, mit welcher der horizontale Erdmagnetismus das abgelenkte Magnetstäbchen nach dem magnetischen Meridian zurückzieht, wir haben also

$$X . \sin v = KY.$$

Setzt man die Inclination gleich i, so ist $Y = X . \operatorname{tang} i$, folglich auch

$$\operatorname{tang} i = \frac{1}{K} \sin v.$$

Man erhält also die Tangente der Inclination, wenn man den Sinus der durch die verticalen eisernen Stäbe bewirkten Ablenkung mit einem constanten Factor $\frac{1}{K}$ multiplicirt, dessen Werth für ein bestimmtes Paar von Eisenstäben dadurch ermittelt wird, das man für denselben Ort an einem zuverlässigen Inclinatorium die Inclination i und an dem magnetischen Theodolit die entsprechende durch die verticalen Eisenstäbe bewirkte Ablenkung v abliest.

So fand Lamont im Jahre 1850 die Inclination zu München gleich $64^0\,59{,}5'$ und die entsprechende durch die Eisenstäbe am magnetischen Theodolit bewirkte Ablenkung gleich $20^0\,18{,}4'$, es ist demnach

$$\frac{1}{K} = \frac{\operatorname{tang} 64^0\,59{,}5'}{\sin 20^0\,18{,}4'} = 6{,}177.$$

Ist einmal dieser Factor für ein bestimmtes Instrument mit bestimmten Eisenstäben ermittelt, so reicht an einem anderen Orte nur die Beobachtung der Ablenkung v hin, um aus derselben die entsprechende Incli-

nation zu berechnen. Im Jahre 1850 fand z. B. Lamont zu Aschaffenburg mit seinem Instrumente die fragliche Ablenkung gleich 22° 1′; für Aschaffenburg wäre demnach

$$tang\, i = 6{,}177 \,.\, sin\; (22^0\, 1')$$

und danach

$$i = 66^0\, 38{,}5'.$$

Fig. 45.

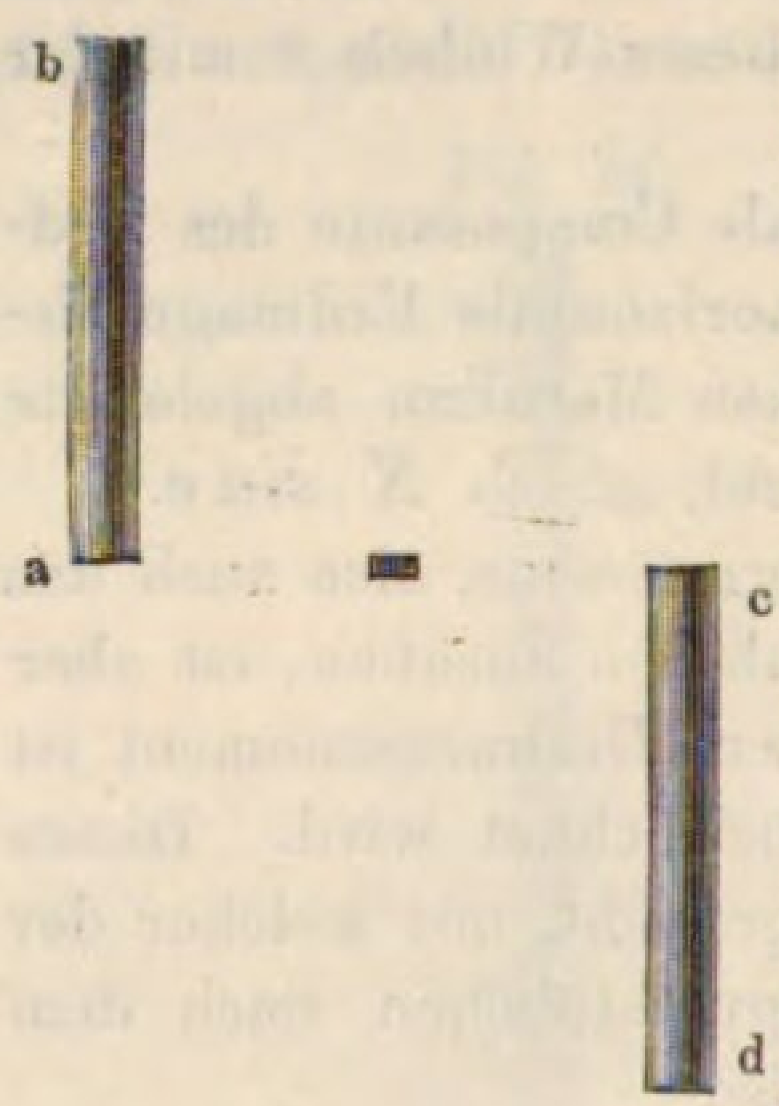
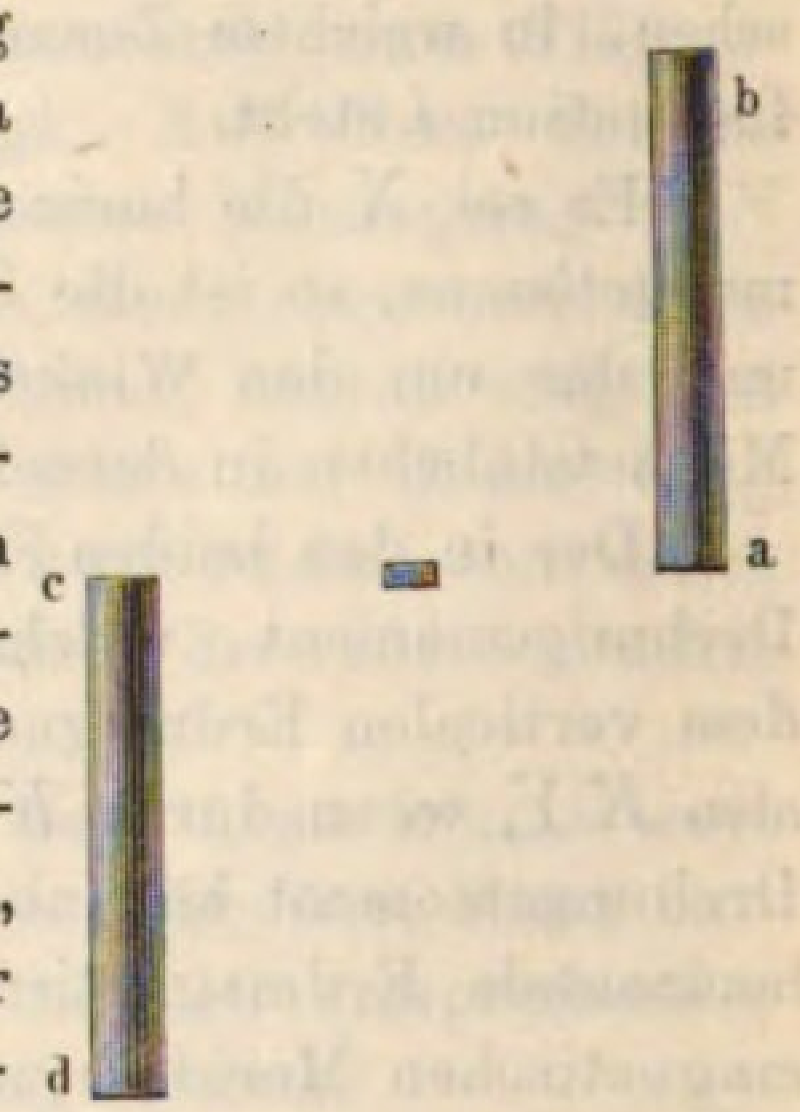


Fig. 46.



Es ist bisher nur von einer einmaligen Beobachtung der durch den inducirten Magnetismus der Eisenstäbe hervorgebrachten Ablenkung die Rede gewesen; da aber die Eisenstäbe nie absolut frei von permanentem Magnetismus sind, so ist es nothwendig, die Beobachtung in der Weise zu vervielfältigen, dass dadurch die vom permanenten Magnetismus herrührenden, sowie sonstige Fehler möglichst eliminirt werden; es geschieht das dadurch, dass man in der Stellung der Eisenstäbe gegen das Magnetstäbchen so viel Variationen macht als möglich.

Fig. 47.

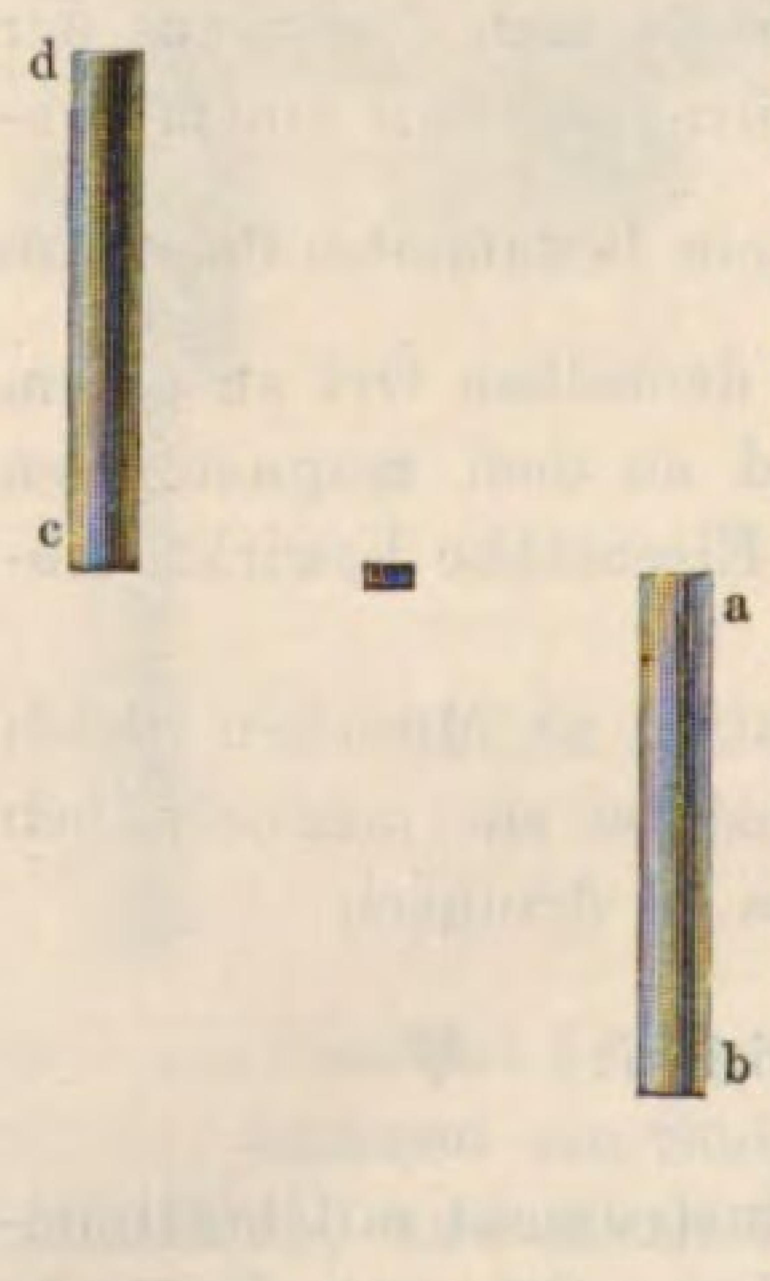
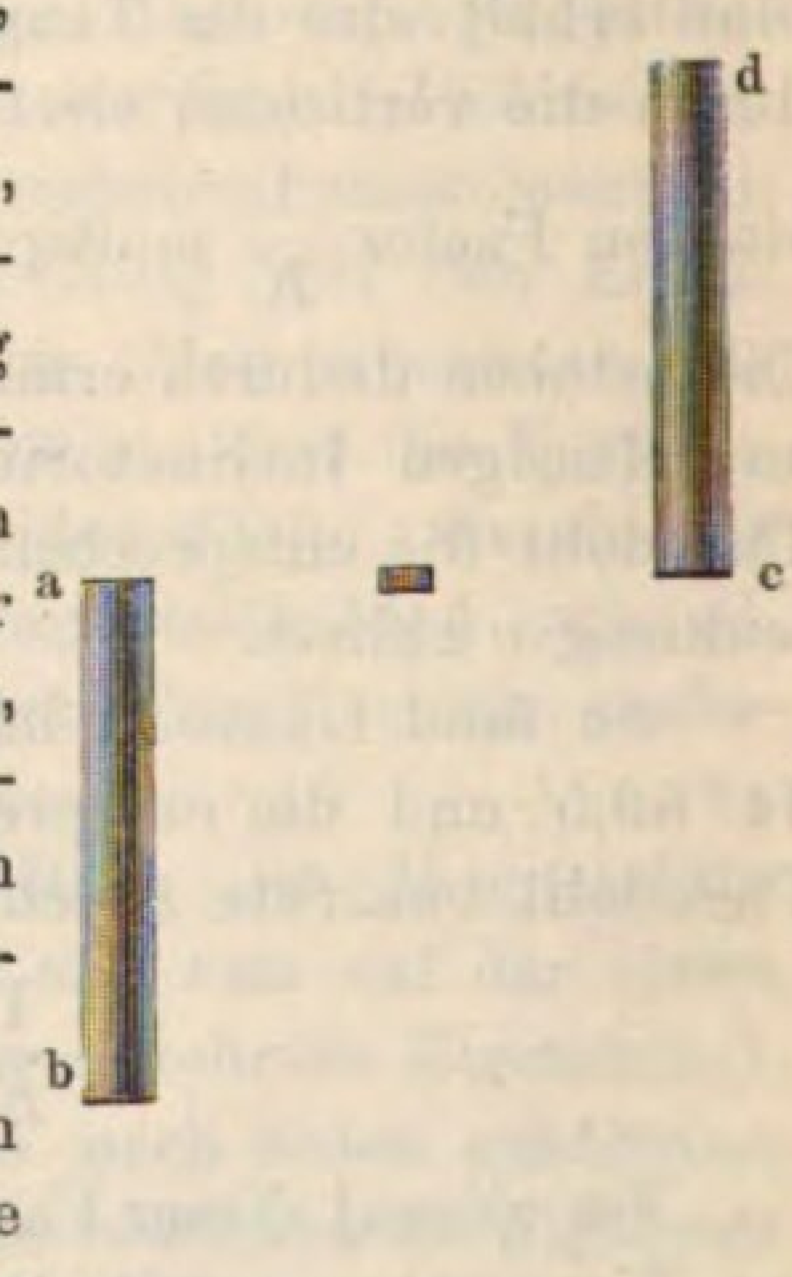


Fig. 48.



Es stelle Fig. 45 die erste Stellung dar, für welche man die Ablenkung beobachtet hat, so erhält man eine entsprechende Ablenkung nach der entgegengesetzten Seite, wenn man den Ring in seiner Ebene um 180° dreht, so dass nun die Eisenstäbe in die Position Fig. 46 gegen die Magnetstäbchen kommen.

Kehrt man nun den Ring so um, dass die bisher untere Fläche die obere wird, so erhält man eine dritte Stellung der Eisenstäbe, Fig. 47,

und eine vierte, Fig. 48, endlich, wenn man den Ring wieder in seiner Ebene um 180° dreht.

Bei diesen vier Stellungen waren die Eisenstäbe stets in gleicher Weise eingeklemmt; nun aber kann man jeden in seinem Halter umkehren, so dass die Stabenden *b* und *d* in die Horizontalebene des Magnetstäbchens kommen. Nach dieser Veränderung wiederholt man die Beobachtung in den eben besprochenen vier Stellungen und erhält so für die gesuchte Ablenkung acht Beobachtungen, aus denen man das Mittel nimmt.

Messung der magnetischen Kräfte. Die Tragkraft der Magnete war das einzige rohe Mittel, welches man zur Vergleichung magnetischer Kräfte anwandte, bis Coulomb im Jahre 1780 genauere Methoden aufstellte und dadurch eine neue Bahn in der Wissenschaft eröffnete. 19

Coulomb wandte zwei verschiedene Mittel an, um die Stärke der Magnete zu messen. 1. Die Oscillationen einer an einem Seiden- oder Platinfaden aufgehängten Nadel; 2. die Drehung von Kupfer- oder Silberfäden in der Torsionswage, welche man nach ihm die Coulomb'sche Drehwage nennt.

I. Methode der Oscillationen. Wir haben schon in §. 16 gesehen, dass die beschleunigende Kraft, unter deren Einfluss eine Magnetnadel oder ein Magnetstab um seine Gleichgewichtslage oscillirt, dem Quadrat der Schwingungszahl proportional ist. Nun aber ist diese beschleunigende Kraft eine Function des Erdmagnetismus und des Stabmagnetismus, man kann demnach aus der Schwingungsdauer auf die Variationen des Erdmagnetismus schliessen, wie es in §. 16 geschehen ist, wenn der Stabmagnetismus ungeändert bleibt, auf die Variationen des Stabmagnetismus aber bei constanter Intensität des Erdmagnetismus.

Es sei n die Anzahl der Schwingungen, welche ein Magnetstab, dessen magnetische Intensität wir mit f bezeichnen wollen, in einer Minute unter dem Einfluss des Erdmagnetismus macht, während n' und f' die entsprechenden Grössen für einen im Uebrigen ganz gleichen nur stärker magnetisirten Stab (bei gleichbleibender Stärke des Erdmagnetismus) bezeichnen, so hat man also

$$\frac{f}{f'} = \frac{n^2}{n'^2}.$$

Hätte z. B. der erste Stab 4, der zweite aber 6 Schwingungen in der Minute gemacht, so hätte man

$$\frac{f}{f'} = \frac{16}{36}$$

also

$$f' = f \cdot \frac{36}{16}.$$

II. Die Drehwage. Wenn ein Metallfaden durch ein angehängtes Gewicht in verticaler Richtung gespannt ist, so nimmt er eine bestimmte Gleichgewichtslage an. Wenn man den Draht durch Drehung aus dieser Gleichgewichtslage herausbringt, so erleidet er seiner ganzen Länge nach eine Torsion, eine Windung, in Folge deren er ein Bestreben hat, das Gewicht wieder in seine Gleichgewichtslage zurückzuführen.

Coulomb hat zuerst die Torsionskraft studirt und, wie wir schon oben (Band I, Seite 84) gesehen haben, gefunden, dass die Kraft, mit welcher der Draht in die Gleichgewichtslage zurückzukehren strebt, der Grösse der Torsion proportional sei. Auf dieses Gesetz gründete er nun die Construction seiner Drehwage, mit Hülfe deren er die Gesetze der magnetischen und elektrischen Abstossung und Anziehung untersuchte.

Die Coulomb'sche Drehwage ist Fig. 49 dargestellt. Fig. 50 zeigt den oberen Theil in einem grösseren Maassstabe. Der verticale Cylinder,

Fig. 49.

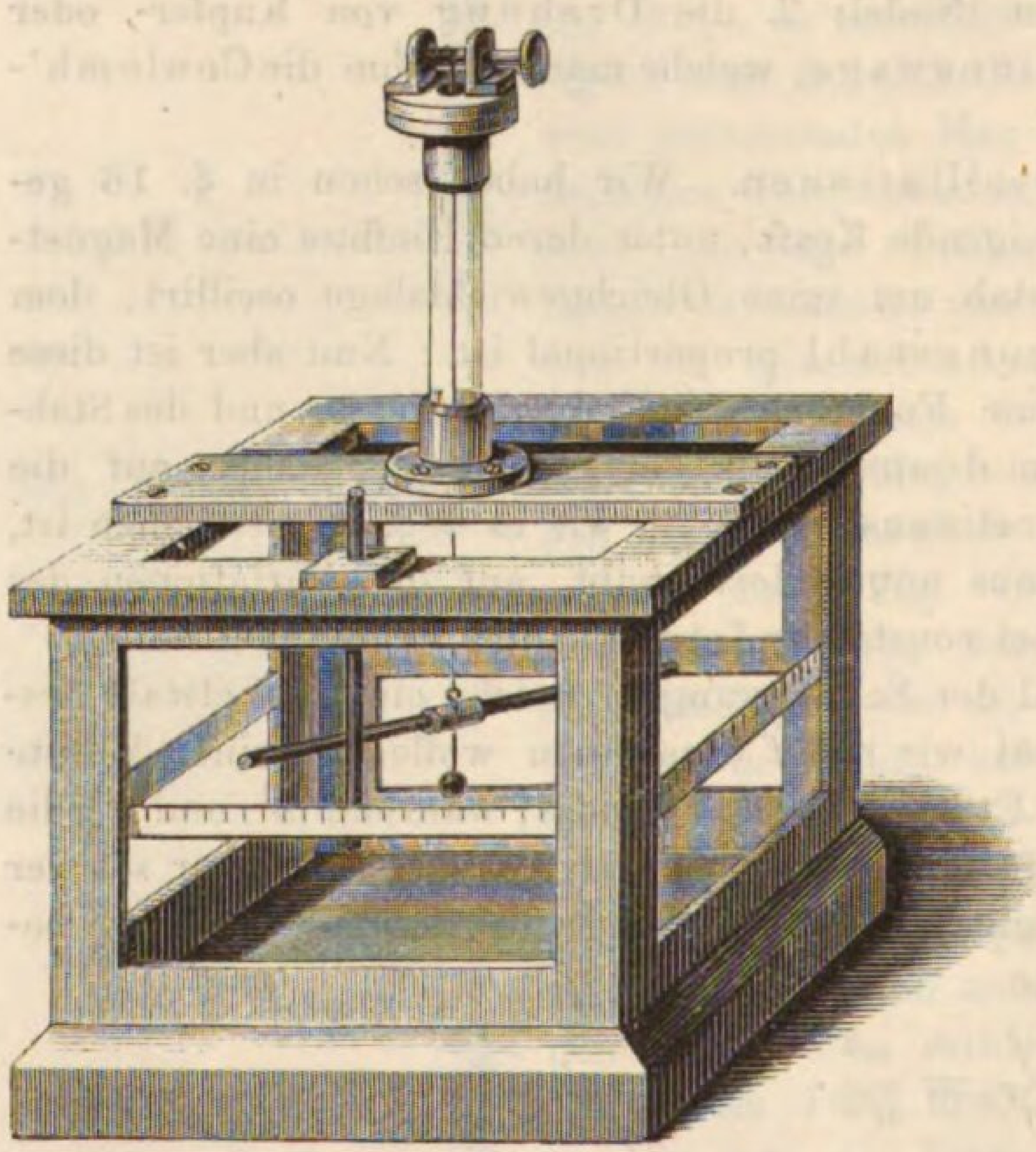
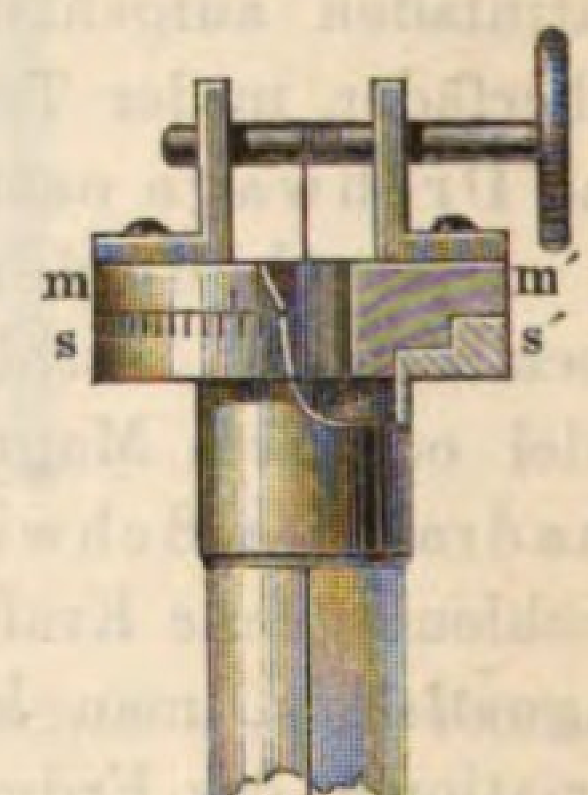


Fig. 50.



in welchem der Draht herabhängt, ist oben mit einer Messingfassung versehen, welche mit einem Ringe ss' endet. Darauf passt eine in der Mitte durchbrochene Messingplatte mm', welche sich mit sanfter Reibung um die verticale Axe des Cylinders drehen lässt. Der Ring ss' ist an seinem äusseren Umfange in Grade getheilt, und die Scheibe mm' hat einen Index, mittelst dessen man die Grösse der vorgenommenen Drehungen ablesen kann.

Am unteren Ende des Fadens hängt eine Art Bügel von Messing oder eine Hülse, in welche man die Magnetstäbe hineinlegt. Am Umfange

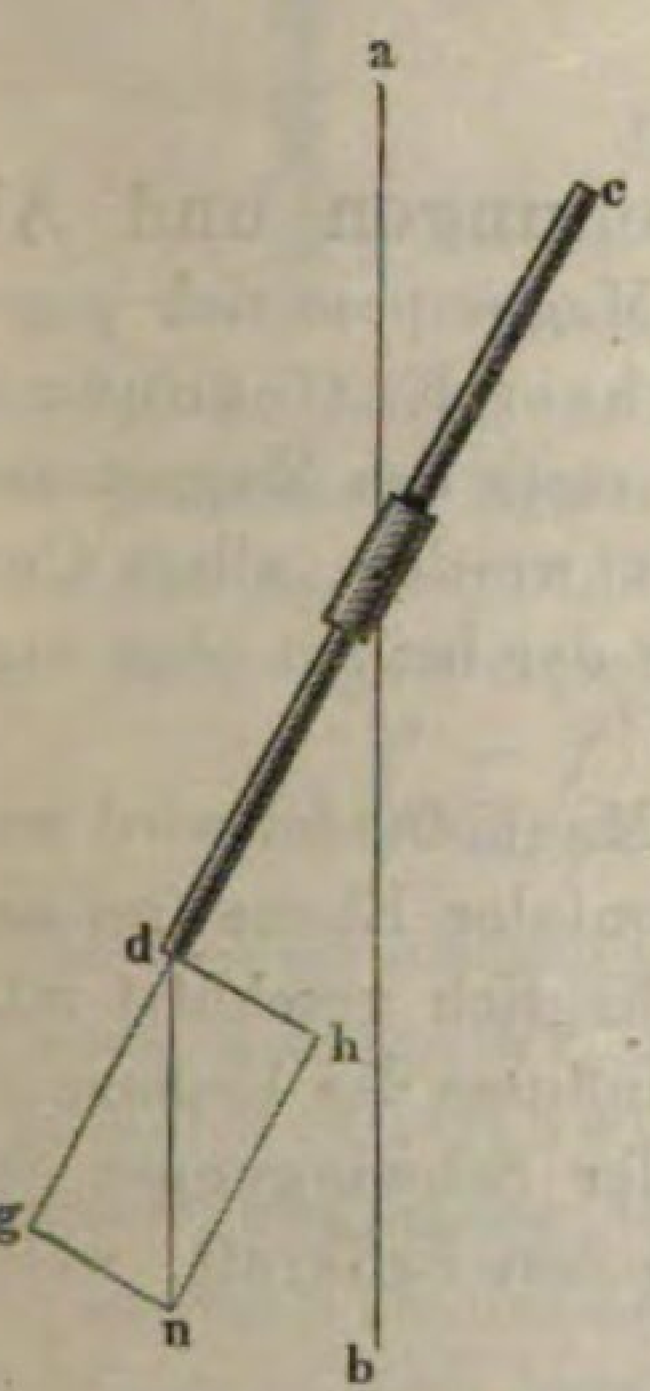
des Kastens ist ein Papierstreifen aufgeklebt, welcher mit einer Theilung versehen ist. Der Draht muss genau im Mittelpunkte dieser Theilung hängen.

Wenn das Instrument gehörig justirt ist, bestimmt man die Gleichgewichtslage des Fadens, indem man einen nicht magnetischen Stab in die Hülse steckt und den Kopf des Apparates so lange dreht, bis der Stab genau in dem magnetischen Meridian liegt; wenn man nun einen magnetisirten Stab in den Bügel legt, so wird er durch zwei Kräfte in dieser Lage zurückgehalten, durch die richtende Kraft des Erdmagnetismus und durch den Faden, welcher bei dieser Lage ohne Torsion ist.

Wenn nun der Kopf des Apparates aus dieser Lage herausgedreht wird, so würde auch der Stab dieser Drehung folgen, wenn er nicht magnetisch wäre. Der Draht strebt den Stab in diejenige Lage zu bringen, bei welcher er ohne Torsion sein würde, der Erdmagnetismus aber zieht ihn in den magnetischen Meridian zurück; unter dem Einflusse dieser beiden Kräfte nun muss der Stab irgend eine Zwischenlage annehmen, welche von dem Verhältnisse der beiden Kräfte abhängt.

Das Mikrometer, d. h. die Platte mm', Fig. 50, sei um 180° gedreht und dadurch die Nadel um 20° vom magnetischen Meridian abgelenkt worden, so beträgt die Torsion des Fadens $180 - 20 = 160°$. Wenn V die Drehung des Mikrometers, v die Ablenkung der Nadel ist, so ist die Torsion des Fadens $V - v$.

Fig. 51.



In Fig. 51 sei ab die Richtung des magnetischen Meridians, cd die Lage der aus dem magnetischen Meridian abgelenkten Nadel, so ist leicht zu ermitteln, mit welcher Kraft der Erdmagnetismus die Nadel in die Lage des magnetischen Meridians zurückzuführen strebt. Denken wir uns die ganze auf die Nadel wirkende magnetische Kraft in d applicirt. Die Richtung dieser Kraft ist die des magnetischen Meridians, wir können also die Kraft der Grösse und Richtung nach durch eine Linie dn darstellen. Diese Kraft lässt sich aber in zwei andere zerlegen, deren eine dg, in der Richtung der Nadel wirkend, keinen Effect hervorbringen kann, während die andere Composante dh, welche rechtwinklig auf die Richtung der Nadel angreift, dieselbe zu drehen strebt.

Bezeichnet m die totale Kraft dn, so ist die Composante dh gleich $m . \sin v$, und dieser Kraft muss die Torsionskraft des Fadens, welche die Nadel nach der anderen Seite zu drehen strebt, das Gleichgewicht halten.

Wenn v klein, d. h. wenn es unter 20^0 ist, so kann man ohne merklichen Fehler den Bogen für den Sinus setzen.

Dividirt man den Torsionswinkel des Fadens $V - v$ durch den Ablenkungswinkel v, so erhält man einen Quotienten $\frac{V - v}{v}$, dessen Werth angiebt, wie viel Grade die Torsion des Fadens betragen müsse, um den Stab um 1^0 abzulenken. Für den vorhin betrachteten Fall ist $V - v = 160$ und $v = 20$, mithin jener Quotient $\frac{160}{20} = 8$, d. h. bei dem eben stattfindenden magnetischen Zustande des Stabes ist die Torsionskraft des Fadens für eine Drehung von 8^0 gerade hinreichend, um der Kraft das Gleichgewicht zu halten, mit welcher der Erdmagnetismus den Stab in den magnetischen Meridian zurückzuführen strebt, wenn er einen Winkel von 1^0 mit diesem Meridian macht.

Nehmen wir an, derselbe Stab, mit welchem der vorige Versuch angestellt worden war, sei stärker magnetisirt worden, man hätte das Mikrometer um 495^0 drehen müssen, damit der Stab um 15^0 abgelenkt wird, so wäre die Torsion des Fadens $495 - 15 = 480^0$. Für diesen Fall ist die Torsion des Fadens, welche einer Ablenkung von 1^0 entspricht, $\frac{480}{15} = 32^0$. In dem letzteren Falle war also die magnetische Kraft des Stabes 4 mal so gross als im ersteren.

20 **Gesetz der magnetischen Anziehungen und Abstossungen.** Die Intensität, mit welcher zwei Magnetpole sich gegenseitig anziehen und abstossen, ist dem Quadrat ihrer Entfernung umgekehrt proportional. Dieses Fundamentalgesetz des Magnetismus war schon früher von einigen Physikern vermuthet worden, allein Coulomb hat die Richtigkeit desselben zuerst mit Hülfe der beiden oben angeführten Methoden nachgewiesen.

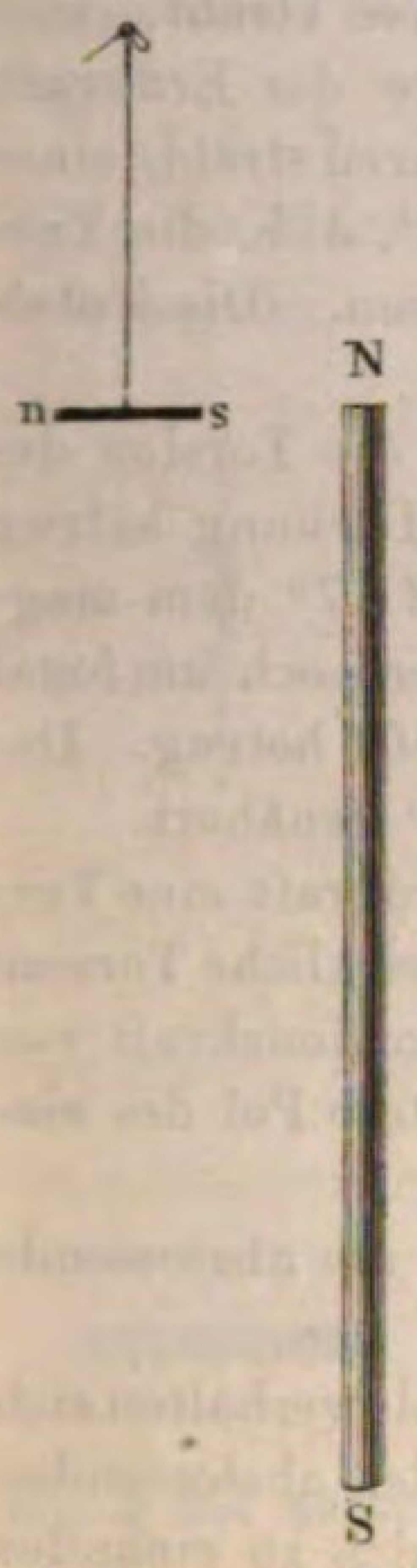
1. Durch Oscillationen. Eine kleine Magnetnadel wird an einem Coconfaden so aufgehängt, dass sie in horizontaler Ebene frei oscilliren kann, aber vor störenden Luftströmungen hinlänglich geschützt ist. Diese Nadel lässt man zuerst unter dem alleinigen Einflusse des Erdmagnetismus oscilliren. Es sei n die beobachtete Zahl der Schwingungen in einer Minute, f der horizontale Theil der magnetischen Erdkraft, welche auf sie wirkt.

Nun lässt man den einen Pol eines möglichst stark magnetisirten Stahlstabes auf die Nadel wirken. Dieser Stahlstab wird in den magnetischen Meridian der Nadel ns, Fig. 52, gebracht und zwar in verticaler Stellung, so dass dem Pol s der Nadel derjenige Pol N des Stabes zugekehrt ist, auf welchen er anziehend wirkt.

Der Stab NS muss so gross sein, dass die Entfernung sN sehr klein ist im Vergleich zur Entfernung sS, dass man also die Wirkung des Pols S auf s ohne merklichen Fehler vernachlässigen kann.

Bezeichnen wir mit n' die Zahl der Schwingungen der Nadel für den Fall, dass der Pol N des Stabes NS aus einer bestimmten Entfernung auf die Nadel wirkt, und mit f' die Kraft, welche nun die oscillirende Nadel beschleunigt, so hat man im Vergleiche mit dem vorigen Versuche

Fig. 52.



$$\frac{f'}{f} = \frac{n'^2}{n^2}.$$

Hätte die Nadel unter dem alleinigen Einflusse des Erdmagnetismus 15 Schwingungen in einer Minute gemacht, hingegen 41, wenn der Pol N des Stabes sich 4 Zoll weit von der Mitteder Nadel befindet, so hätte man

$$\frac{f'}{f} = \frac{41^2}{15^2}.$$

Man bringt nun den Stab in die doppelte Entfernung, so dass N 8 Zoll weit von der Nadel ist, und beobachtet abermals die Zahl der Oscillationen; gesetzt, man fände ihre Anzahl in einer Minute $n'' = 24$, so ist, wenn man mit f'' die in diesem Falle auf die Nadel wirkende Kraft bezeichnet,

$$\frac{f''}{f} = \frac{24^2}{15^2}.$$

Die Grösse f' ist offenbar die Summe der erdmagnetischen Kraft und der anziehenden Kraft, welche der Pol N aus einer Entfernung von 4 Zoll auf die Nadel ausübt; letztere ist also offenbar $f' - f$. Ebenso ist die anziehende Kraft, welche der Stab aus einer Entfernung von 8 Zoll auf die Nadel ausübt, $f'' - f$. Durch die Combination der beiden letzten Gleichungen ergiebt sich aber

$$\frac{f' - f}{f'' - f} = \frac{41^2 - 15^2}{24^2 - 15^2} = \frac{1456}{351} = 4{,}1.$$

Dieser Versuch zeigt also, dass die anziehende Kraft eines magnetischen Pols in doppelter Entfernung wirklich nahe viermal schwächer wird.

2. **Mit der Drehwage.** Auch für diese Versuche muss man lange magnetische Stahlstäbe oder Drähte anwenden, damit die Wirkung des einen Pols gegen die des anderen verschwindend werden könne. Coulomb's Stäbe waren 24 Zoll lang, hatten $^1/_2$ bis 1 Linie Durchmesser und waren möglichst stark magnetisch. Ein solcher Stab wurde in den Bügel der Drehwage Figur 49 gebracht, also horizontal aufgehängt; ein vorläufig angestellter Versuch ergab, dass eine Torsion von 35^0 nöthig war, um den Magnetstab 1^0 aus dem Meridian abzulenken. Nun wurde ein zweiter Stab von oben in verticaler Richtung in den Kasten hineingesteckt und zwar so, dass der nach unten gekehrte Pol den zunächstliegenden des horizontalen Stabes abstiess. Der horizontale Magnetstab kam in einer Lage zur Ruhe, welche einen Winkel von 24^0 mit dem magnetischen Meridian machte.

Bei dieser Lage des hängenden Stabes sind es zwei Kräfte, welche ihn in den magnetischen Meridian zurückzuführen streben, die Erdkraft und eine Torsion des Fadens von 24°. Da aber für jeden Grad Ablenkung die Kraft, welche den Stab in den Meridian zurückzuführen strebt, einer Torsionskraft von 35° gleich ist, so ist die Composante der Erdkraft, welche bei einer Ablenkung von 24° die Nadel zurückzuführen strebt, einer Torsionskraft 24 . 35 oder 840° gleich, wozu noch die 24°, d. h. die Torsion, welche der Faden wirklich hat, addirt werden müssen. Die Totalkraft ist also 864°.

Nun wurde das Mikrometer so gedreht, dass durch die Torsion des Fadens die horizontale Nadel dem Stabe näher kam. Die Drehung betrug 3mal 360, also 1080°, und dadurch wurde die Nadel auf 17° dem magnetischen Meridian genähert. Dann wurde das Mikrometer noch um 5mal 360° gedreht, so dass also jetzt die Totalumdrehung 2880° betrug. Dadurch wurde der horizontale Stab dem verticalen auf 12° genähert.

Für die zweite Stellung war das Aequivalent der Erdkraft eine Torsion von 17 . 35 = 595 Graden. Addirt man dazu die wirkliche Torsion des Fadens 1080 + 17 = 1097°, so erhält man eine Torsionskraft von 1692° als Maass für die abstossende Kraft, welche der untere Pol des eingeschobenen Magneten ausübt.

Auf dieselbe Weise findet man für die dritte Lage die abstossende Kraft gleich der Torsionskraft von 3312°.

Die Entfernungen der beiden einander abstossenden Pole verhalten sich also in diesen Versuchen wie 24 : 17 : 12, die entsprechenden abstossenden Kräfte aber wie 864 : 1692 : 3312, welch letztere Zahlen sich zu einander sehr nahe umgekehrt verhalten wie die Quadrate der ersteren.

21 **Totalwirkung eines Magnetstabes in die Ferne.** Das eben bewiesene Gesetz bezieht sich streng genommen nur auf die Anziehung und Abstossung der magnetischen Elemente. Die Gesammtwirkung eines magnetischen Körpers verhält sich aber ganz anders. Die eben angeführten Versuche stellten auch nur deshalb das Gesetz wenigstens annäherungsweise heraus, weil die Anordnung so getroffen war, dass der eine Pol des zu prüfenden Magnets in so grosser Entfernung war, dass er die Wirkung des anderen nicht wesentlich modificiren konnte. Ist jedoch diese Bedingung nicht erfüllt, so stellen sich ganz andere Resultate heraus, und wenn die Entfernungen gross genug sind gegen die Dimensionen des Magnets, so verhalten sich die Totalwirkungen desselben sehr nahe umgekehrt wie die dritten Potenzen der Entfernungen.

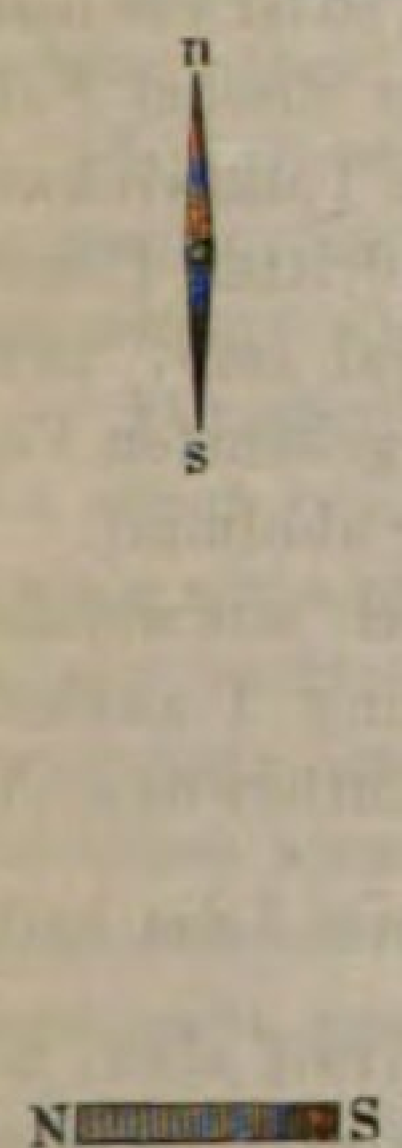
Dieses Gesetz der Totalwirkung eines Magnets ergiebt sich als nothwendige Folge daraus, dass die Wirkung der magnetischen Elemente auf einander im Verhältniss des Quadrats der Entfernung abnimmt. Gauss hat diesen Gegenstand ganz allgemein entwickelt und Formeln gegeben, nach welchen sich die gegenseitige Einwirkung zweier Magnete für jede beliebige gegenseitige Lage berechnen lässt. Für uns sind jedoch nur zwei

specielle Lagen von besonderer Wichtigkeit, und wir wollen deshalb auch nur diese betrachten.

Ein Magnetstab und eine nur um eine verticale Axe drehbare Magnetnadel sollen sich in derselben Horizontalebene befinden, und zwar liege

1) der Drehpunkt der Nadel auf derjenigen Linie, welche durch die Mitte des Magnetstabes gehend rechtwinklig auf seiner Längenaxe steht, wie dies in Fig. 53 dargestellt ist. In diesem Falle wird der Stab NS die Nadel parallel mit seiner Richtung zu stellen streben; oder

Fig. 53.

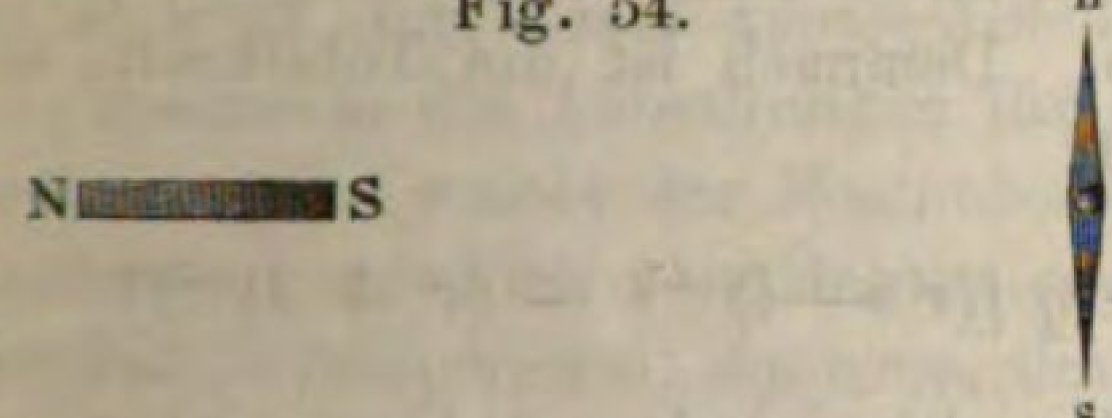


2) es liege der Mittelpunkt der drehbaren Nadel in der Verlängerung des Stabes, wie Fig. 54; in diesem Falle geht die Wirkung des Stabes dahin, die Nadel so zu stellen, dass ihre Längenaxe in die Verlängerung des Stabes fällt.

In Fig. 53 sowohl als in Fig. 54 sind die Nadeln rechtwinklig zu der durch den Magnetstab bedingten Gleichgewichtslage dargestellt. Berechnen wir für beide Fälle die Kraft, mit welcher der Magnetstab die Nadel zu drehen strebt, wenn diese rechtwinklig zu der durch den Magnetstab bedingten Gleichgewichtslage steht.

Erster Fall. Der Pol S, Fig. 55 (a.f.S.) stösst den Pol s ab, und zwar in der Richtung sa. Bezeichnen wir mit q die abstossende Kraft, welche diese beiden Pole in der Entfernung 1 auf einander ausüben, so ist $\frac{q}{r^2}$ die abstossende Kraft, welche sie wirklich auf einander ausüben, wenn ihre Entfernung mit r bezeichnet wird.

Fig. 54.



Die Kraft $\frac{q}{r^2}$, mit welcher der Pol S den Pol s abstösst, kann durch die Linie sa dargestellt werden.

Der Pol N wirkt anziehend auf s, und zwar zieht er ebenso stark an, wie S abstösst, weil S und N gleichweit von s entfernt sind; die anziehende Kraft kann also durch die Linie sc dargestellt werden. Nach dem Gesetze des Parallelogramms der Kräfte ergiebt sich sb als Resultirende der beiden Kräfte sa und sc. Aus der Aehnlichkeit der Dreiecke NSs und bsa aber ergiebt sich die Proportion

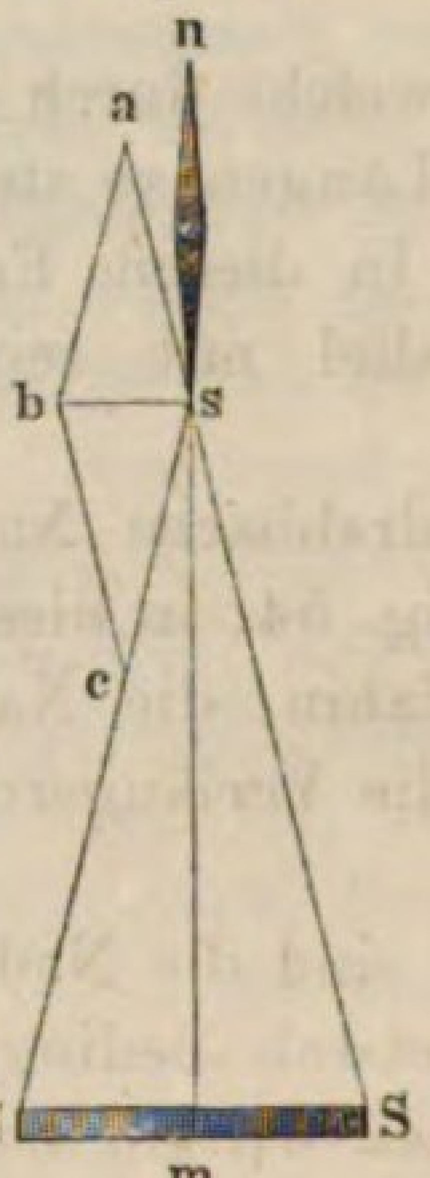
$$Ss : SN = as : bs.$$

Da nun $Ss = r, sa = \frac{q}{r^2}$ ist, so geht jene Proportion über in

$$r : 2l = \frac{q}{r^2} : f,$$

wenn wir mit f den Werth der Resultirenden bs, d. h. die Totalwirkung des Magnets SN auf den Pol s, und mit l die halbe Länge des Magnets NS bezeichnen; daraus ergiebt sich

Fig. 55.



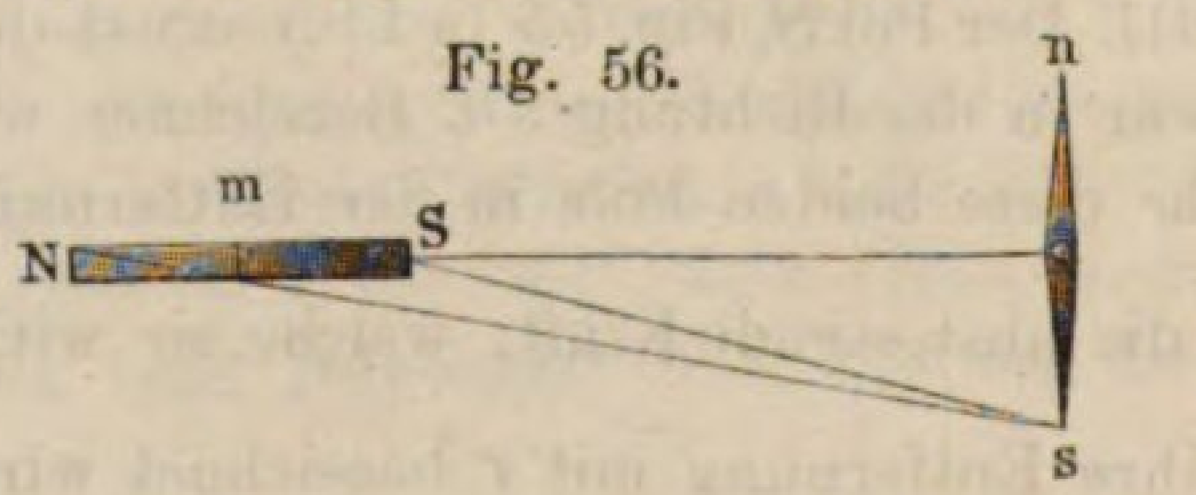
$$f = \frac{2lq}{r^3} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

Der Werth f, d. h. die Totalwirkung des Magnets NS auf den anderen steht also im umgekehrten Verhältniss der dritten Potenz von r.

Ist l sehr klein im Vergleich zu r, so ist sm nicht wesentlich von sS verschieden, und in diesem Falle lässt sich der Satz so aussprechen: Die Totalwirkung eines Magnets in die Ferne muss der dritten Potenz der Entfernung umgekehrt proportional sein, wenn die Wirkung der einzelnen Pole im umgekehrten Verhältniss des Quadrats der Entfernung abnimmt.

Zweiter Fall. Wenn q die Kraft ist, mit welcher der Pol N den Pol s aus der Entfernung 1 anzieht, so ist seine anziehende Kraft für die Entfernung Ns gleich $\frac{q}{(r+l)^2}$, wenn mit r die Entfernung ms und mit l die halbe Länge des Magnets NS bezeichnet wird; die abstossende Kraft aber, mit welcher S auf s wirkt, ist demnach gleich $\frac{q}{(r-l)^2}$. Wenn ns klein ist im Vergleich zu der Entfernung des Magnetstabes NS, so kann man ohne merklichen Fehler die Richtung der beiden auf s wirkenden Kräfte als gleich und rechtwinklig auf ns annehmen. Demnach ist die Totalkraft, mit welcher der Magnet NS auf s wirkt,

Fig. 56.



$$F = \frac{q}{(r-l)^2} - \frac{q}{(r+l)^2} = q\,[(r-l)^{-2} - (r+l)^{-2}].$$

Wenn man $(r-l)^{-2}$ nach dem binomischen Lehrsatze in eine Reihe entwickelt, so kommt

$$r^{-2} + 2r^{-3}l + 3r^{-4}l^2 + 4r^{-5}l^3 + \text{etc.}$$

Der Ausdruck $(r+l)^{-2}$ giebt eine ganz ähnliche Reihe, welche sich von dieser nur dadurch unterscheidet, dass alle Glieder, welche mit ungeraden Potenzen von l behaftet sind, das entgegengesetzte Zeichen haben; wenn man also die Reihe für $(r+l)^{-2}$ abzieht von der Reihe für $(r-l)^{-2}$, so fällt r^{-2} weg, und ebenso alle Glieder, welche mit geraden Potenzen von l behaftet sind, während sich die anderen summiren, man erhält auf diese Weise

$$F = 4lqr^{-3} + 8l^3qr^{-5} + \text{etc.} = \frac{4lq}{r^3} + \frac{8l^3q}{r^5} + \text{etc.}$$

Wenn man alle folgenden Glieder der Reihe gegen das erste vernachlässigt, was um so mehr erlaubt ist, als r im Vergleich zu l wächst, so hat man also

$$F = \frac{4lq}{r^3}.$$

Vergleichen wir diesen Werth F mit dem für die erste Lage gefundenen Werth von f, so ergiebt sich

$$F = 2f.$$

Alle vernachlässigten Glieder haben zum Nenner eine Potenz von r, welche höher ist als die dritte.

Gehen wir nun zu den Versuchen über, welche Gauss anstellte, um zu zeigen dass sich die Totalwirkung eines Magnets in die Ferne wirklich umgekehrt wie die dritte Potenz seiner Entfernung verhält.

Für den Magnet ns wurde ein Magnetometerstab angewandt, wie wir ihn schon oben (Seite 28) kennen gelernt haben. Südlich von demselben wurde ein anderer ähnlicher Magnetstab gelegt wie NS, Fig. 53, so dass er also rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian stand. Die Verbindungslinie der Mittelpunkte beider Magnete fiel mit dem magnetischen Meridian zusammen. Durch die Einwirkung des Stabes NS wurde das Magnetometer abgelenkt, und da der Ablenkungswinkel klein ist, so kann man recht gut die Grösse dieses Winkels für ein Maass der Kraft nehmen, mit welcher der Magnet NS das Magnetometer zu drehen strebt. Bezeichnen wir den Ablenkungswinkel mit v. Der einer bestimmten Entfernung beider Stäbe entsprechende Werth von v wurde jedoch nicht durch einen, sondern als Mittel aus vier Versuchen bestimmt.

Bei der Fig. 53 dargestellten Lage wird der Pol s nach der linken Seite hin abgelenkt werden. Kehrt man aber den Magnet NS so um, dass N dahin zu liegen kommt, wo jetzt S ist, und S dahin, wo jetzt N ist, so wird eine ebenso grosse Ablenkung nach der rechten Seite erfolgen.

Nachdem die Ablenkungen für die beiden eben erwähnten Lagen ermittelt waren, wurde der Magnetstab in der nämlichen Weise in gleicher Entfernung nördlich vom Magnetometer placirt, und zwar einmal so, dass der Pol N östlich, und dann so, dass derselbe Pol westlich lag; dadurch wurde das Magnetometer wieder einmal östlich und einmal westlich abgelenkt. Aus diesen vier Beobachtungen wurde das Mittel genommen.

Die folgende Tabelle enthält die Resultate einer nach der angegebenen Methode für verschiedene Entfernungen angestellten Versuchsreihe. In der ersten Columne unter r ist immer die Entfernung der Aufhängungsaxe des Magnetometers von dem Mittelpunkte des Stabes NS in Metern angegeben, die zweite Columne unter v enthält die entsprechenden Ablenkungen.

r	v	v'
1,1m	1° 57′ 24,8″	
1,2	1 29 40,5	
1,3	1 10 19,3	2° 13′ 51,2″
1,4	0 55 58,9	1 47 28,6
1,5	0 45 14,3	1 27 19,1
1,6	0 37 12,2	1 12 7,6
1,7	0 30 57,9	1 0 9,9
1,8	0 25 59,5	0 50 52,5
1,9	0 22 9,2	0 43 21,8
2,0	0 19 1,6	0 37 16,2
2,1	0 16 24,7	0 32 4,6
2,5	0 9 36,1	0 18 51,9
3,0	0 5 33,7	0 11 0,7
3,5	0 3 28,9	0 6 56,9
4,0	0 2 22,2	0 4 35,9

Eine zweite Versuchsreihe wurde gemacht, indem man den ablenkenden Stab in die Lage NS, Fig. 54, gegen den Magnetometerstab brachte. Auch bei dieser Versuchsreihe wurde der jeder Entfernung entsprechende Ablenkungswinkel nicht aus einem, sondern als Mittel aus vier Versuchen bestimmt. Bei der Lage, wie sie Fig. 54 dargestellt ist, erhält man eine westliche Ablenkung: dann wurde der Magnet so umgekehrt, dass N an die Stelle von S und S an die Stelle von N kam; dadurch erhielt man eine entsprechende östliche Ablenkung. Nun wurde der Magnet ebenso weit ostwärts vom Magnetometer placirt, und zwar wurde einmal N nach Osten, einmal nach Westen gekehrt, und so erhielt man abermals eine östliche und eine westliche Ablenkung. Aus den vier so beobachteten Ablenkungen wurde das Mittel genommen. Die obige Tabelle enthält in der dritten Columne unter v' die Mittelwerthe der Ablenkungen, wie sie bei dieser Versuchsweise für die verschiedenen Entfernungen gefunden wurden.

Schon ein flüchtiger Ueberblick dieser Tabelle zeigt, dass für die grösseren Entfernungen die Zahlen der zweiten Columne sich unter einander wirklich sehr nahe umgekehrt verhalten wie die dritten Potenzen der entsprechenden Werthe von r. Dasselbe ergiebt sich auch, wenn man die Zahlen der dritten Columne mit denen der ersten vergleicht. Wir sehen daraus, dass die Totalwirkung eines Magnets auf Entfernungen, die einigermaassen gross sind gegen seine Dimensionen, sich wirklich umgekehrt verhalten wie die dritten Potenzen dieser Entfernungen, also gerade so,

wie es sich als Folgerung aus der Annahme ergiebt, dass die Wirkung jedes Poles (oder, besser ausgedrückt, jedes magnetischen Elementes) sich umgekehrt verhält wie das Quadrat der Entfernung.

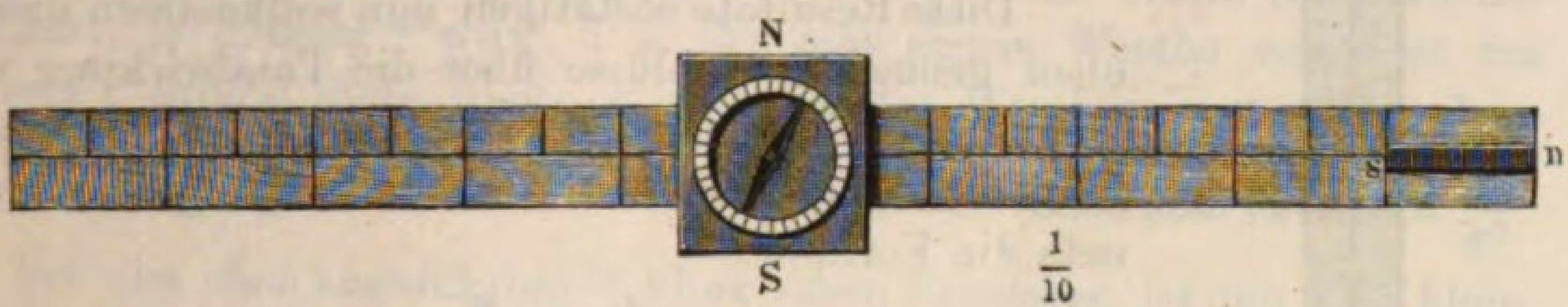
Nach den obigen Entwickelungen ist

$$F = 2f,$$

und in der That sind die Zahlen der dritten Columne stets sehr nahe doppelt so gross als die entsprechenden Zahlen der zweiten.

Die Versuche über die Totalwirkung der Magnete lassen sich auch ohne Magnetometer nach W. Weber's Angaben mit einer gewöhnlichen Bussole, die nur in ganze Grade getheilt ist, anstellen, da man noch 10tel Grade schätzen kann. Die Bussole wird auf die Mitte eines etwas breiten Maassstabes gesetzt, der nur in Decimeter getheilt zu sein braucht. Der Maassstab ist 1 Meter lang. Bei der einen Versuchsreihe wird der Maassstab rechtwinklig auf den magnetischen Meridian gelegt, wie Fig. 57 zeigt.

Fig. 57.



Der Magnetstab *ns*, den man zu den Ablenkungsversuchen anwendet, ist am besten genau 1 Decimeter lang. Wie ihn die Fig. 57 zeigt, ist die Entfernung seiner Mitte vom Mittelpunkte der Nadel 450 Millimeter; ausserdem beobachtete Weber noch die Ablenkung für die Entfernungen 350 Millimeter und 300 Millimeter. Es versteht sich von selbst, dass für jede Entfernung auf die schon angegebene Weise vier Versuche gemacht und aus deren Ergebniss das Mittel genommen wurde.

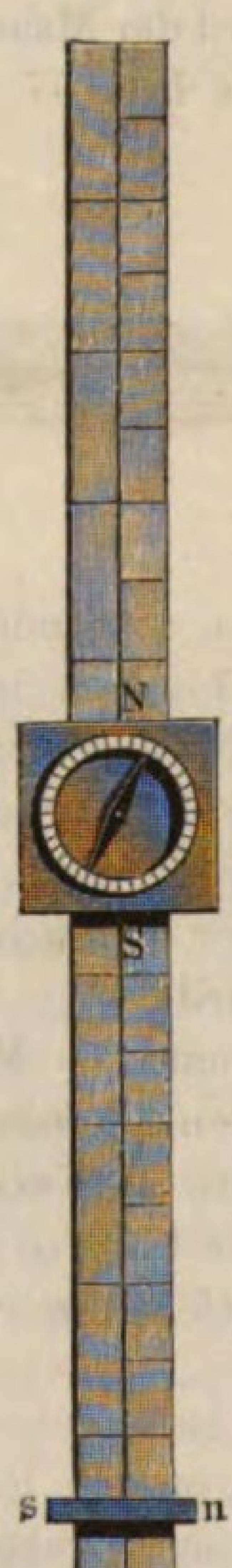
Für die zweite Versuchsreihe, Fig. 58 (a. f. S.), legt man den Maassstab in die Richtung des magnetischen Meridians und den ablenkenden Magneten rechtwinklig auf denselben. Wiederholt man nun die Versuche, so wird man finden, dass die Ablenkungen jetzt sehr nahe halb so gross sind, als man in der ersten Versuchsreihe für dieselbe Entfernung gefunden hatte.

Zum Behufe magnetischer Intensitätsbestimmungen hat Weber die Ablenkungen für die in Fig. 57 dargestellte Anordnung in den Entfernungen 450, 350 und 300 Millimeter beobachtet. Die Versuche gaben die in folgender Tabelle zusammengestellten Resultate:

r	v	$tang\ v$
0,45m	11° 24′ 0″	0,20163
0,35	23 28 50	0,43440
0,30	35 17 25	0,70779

Die unter v stehenden Ablenkungen sind das Mittel aus je vier Versuchen

Fig. 58.



Es versteht sich von selbst, dass die Grösse der Ablenkung von der Individualität des Ablenkungsmagnets abhängt. Wäre der Magnet ns schwächer magnetisirt gewesen, so wären die Ablenkungen geringer ausgefallen.

Diese Resultate bestätigen nun vollkommen unsere oben gemachten Schlüsse über die Totalwirkung von Magneten. Nach den auf S. 52 gemachten Entwickelungen hat der Werth für die Totalwirkung eines Magnets die Form

$$F = \frac{x}{r^3} + \frac{y}{r^5} + \text{etc.}$$

Bei den Gauss'schen Versuchen war die Ablenkung so klein, dass man ohne merklichen Fehler den Ablenkungswinkel für das Maass der ablenkenden Kraft nehmen kann, bei diesen Versuchen aber ist der Ablenkungswinkel so gross, dass man diese Annahme nicht mehr machen darf. Wie wir früher gesehen haben, ist die Kraft, womit der Erdmagnetismus die Nadel in den magnetischen Meridian zurückzudrehen strebt, $c . sin\, v$; durch ein ganz ähnliches Raisonnement ergiebt sich aber auch, dass, wenn F das Drehungsmoment ist, mit welchem der Ablenkungsstab auf die Nadel wirkt, wenn sie im magnetischen Meridian steht, dass alsdann $F . cos\, v$ das vom Stabe her auf die Nadel wirkende Drehungsmoment sei, wenn die Nadel einen Winkel v mit dem magnetischen Meridian macht. Für den Fall des Gleichgewichts aber ist

$$c . sin\, v = F . cos\, v,$$

und daraus

$$\frac{F}{c} = tang\, v$$

$$F = c . tang\, v,$$

woraus man ersieht, dass die ablenkende Kraft des Magnets nicht dem

Ablenkungswinkel, sondern der **Tangente** des Ablenkungswinkels proportional ist; wir können also die Tangente des Ablenkungswinkels als Maass für die Kraft des ablenkenden Magnets ansehen; für die Tangente des Ablenkungswinkels gilt also auch Alles, was von der ablenkenden Kraft selbst gesagt wurde, und wir haben also

$$tang\, v = \frac{x}{r^3} + \frac{y}{r^5} + \text{etc.}$$

Jemehr nun r wächst, desto mehr nähert sich der Werth von $tang\, v$ dem Werthe $\frac{x}{r^3}$. Multiplicirt man auf beiden Seiten mit r^3, so kommt

$$r^3\, tang\, v = x + \frac{y}{r^2} + \text{etc.}$$

Aus dieser Gleichung sieht man, dass, wenn man die Tangente des Ablenkungswinkels mit der dritten Potenz der Entfernung multiplicirt, ein Product herauskommen müsse, welches sich um so mehr einem Grenzwerthe x nähert, je grösser r wird, d. h. für sehr grosse Werthe von r ist das Product $r^3\, tang\, v$ stets gleich x, wie sich der Werth von r auch ändern mag. Je kleiner aber r wird, desto mehr Einfluss bekommt das Glied $\frac{y}{r^2}$.

Bei den eben angeführten **Weber**'schen Versuchen ist nun r so klein, dass es noch einen sehr merklichen Einfluss auf das Product $r^3\, tang\, v$ ausübt. Aus den angeführten **Weber**'schen Versuchen berechnet man folgende Werthe von $r^3\, tang\, v$:

0,018374000	für	die	Entfernung	0,45^m
0,018625000	„	„	„	0,35
0,019110000	„	„	„	0,30.

Wir sehen also, dass für kleinere r jenes Product immer grösser wird.

Für die folgenden Bestimmungen der Intensität des Erdmagnetismus ist es von der grössten Wichtigkeit, den Grenzwerth zu ermitteln, dem sich das Product $r^3\, tang\, v$ immer mehr nähert, je grösser r wird.

Für die Entfernung 450 Millimeter ist der Werth von $tang\, v$ gleich 0,20163, wenn wir nur die beiden ersten Glieder im Werthe von $tang\, v$ berücksichtigen, so hat man die Gleichung

$$0{,}20163 = \frac{x}{0{,}45^3} + \frac{y}{0{,}45^5} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

für die Entfernung 300 Millimeter ist der Werth von $tang\, v$ gleich 0,70779, es ist also

$$0{,}70779 = \frac{x}{0{,}3^3} + \frac{y}{0{,}3^5} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

Aus diesen beiden Gleichungen lässt sich nun der Werth von x bestimmen, man findet

$$x = 0{,}017784.$$

Dies würde genau der Grenzwerth sein, dem sich das Product

$r^3 \, tang \, v$ um so mehr nähert, je grösser r wird, wenn die Versuche ganz frei von Beobachtungsfehlern wären. In diesem Falle müsste man auch genau denselben Werth von x finden, wenn man den ersten und zweiten Versuch in der Weise verbindet, wie wir es eben für den ersten und dritten gethan haben. Für die Entfernung 0,35^m ist der Werth von $tang \, v$ gleich 0,4344; dies giebt die Gleichung

$$0{,}4344 = \frac{x}{0{,}35^3} + \frac{y}{0{,}35^5}.$$

Combinirt man diese Gleichung mit der Gleichung 1), so kommt

$$x = 0{,}01799.$$

Combinirt man auf dieselbe Weise den zweiten und dritten Versuch, so kommt

$$x = 0{,}01731.$$

Den wahrscheinlichsten Werth von x erhält man, wenn man aus jenen drei Werthen das Mittel nimmt, man findet auf diese Weise

$$x = 0{,}017667.$$

Weber hat nach der Methode der kleinsten Quadrate auf eine genauere Weise diesen Werth berechnet und 0,01753 gefunden, was mit unserm Resultate nahe zusammenfällt.

Der Grenzwerth von $r^3 \, tang \, v$, den wir das reducirte Drehungsmoment nennen wollen, ist die Tangente des Ablenkungswinkels, um welchen die bewegliche Nadel durch den festen Stab abgelenkt würde, wenn die Mitte der Nadel von der Mitte des Stabes um die Längeneinheit, für welche wir hier das Meter nehmen, von einander entfernt wäre, vorausgesetzt, dass die Dimensionen der beiden Magnete, im Vergleich zu dieser Entfernung klein genug sind, wie es bei den oben betrachteten Weber'schen Ablenkungsversuchen in der That der Fall war.

Bei der Fig. 57 dargestellten gegenseitigen Lage ist das reducirte Drehungsmoment, also die Tangente des Winkels, um welchen die Nadel durch den um 1 Meter entfernten Stab abgelenkt wird, 0,01753; bei der, Fig. 58, dargestellten gegenseitigen Lage aber nur 0,00876; im ersten Falle ist der entsprechende Ablenkungswinkel $1^0 0' 43''$, im letzteren $30' 21''$.

22 **Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus nach absolutem Maass.** Nachdem wir die Gesetze, welchen die Wirkung der Magnete in die Ferne folgt, kennen gelernt haben, können wir auch zu den Untersuchungen über die Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus zurückkehren.

Die Gesammtkraft, welche auf eine in horizontaler Ebene schwingende Magnetnadel wirkt, lässt sich aus den beobachteten Schwingungszeiten nach den Gesetzen der Pendelbewegung berechnen. Wie wir im ersten Bande (Seite 278) gesehen haben, ist für ein einfaches Pendel

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}},$$

wo die Buchstaben t, π, l und g die dort angegebene Bedeutung haben.

Wenn man mit einem physischen, also zusammengesetzten Pendel zu thun hat, so muss für l die Länge des einfachen Pendels gesetzt werden, welches mit dem fraglichen physischen gleiche Schwingungsdauer hat. Wie Bd. I, S. 299 gezeigt wurde, findet man aber diese Länge, d. h. die Entfernung des Aufhängepunktes vom Schwingungspunkte des physischen Pendels, wenn man die Summe der Trägheitsmomente aller materiellen Punkte durch die Summe der statischen Momente der Kräfte dividirt, welche auf die einzelnen Punkte wirken. Bezeichnen wir die Summe der Trägheitsmomente mit K, die jener statischen Momente mit C, so ist

$$t = \pi \sqrt{\frac{K}{Cg}}.$$

Um die Sache recht anschaulich zu machen, wollen wir die Bedeutung der Buchstaben K und C noch etwas näher betrachten. Die Summe K der Trägheitsmomente der einzelnen materiellen Theilchen, das Trägheitsmoment des Körpers, ist in der That nichts anders als die träge Masse, die in der Entfernung 1 vom Drehpunkte concentrirt sein müsste, um der Gesammtheit der beschleunigenden Kräfte, welche die Oscillationen bewirken, denselben Widerstand entgegenzusetzen, wie es die träge Masse des Körpers wirklich thut. Die Summe C der statischen Momente ist aber ebenso die Kraft, die in der Entfernung 1 vom Drehpunkte angreifen müsste, um denselben Effect hervorzubringen, wie die Gesammtheit aller Kräfte, die in verschiedenen Entfernungen angreifen.

Wenden wir nun unsere Formel auf einen Magnetstab an, welcher in horizontaler Ebene um eine verticale Axe unter dem Einflusse des Erdmagnetismus oscillirt, so ergiebt sich t aus der Beobachtung und K lässt sich nach Principien der Mechanik berechnen, wenn der Stab eine einfache reguläre Gestalt hat; man kann demnach C nach jener Formel bestimmen. Man findet

$$C = \frac{\pi^2 K}{g \,.\, t^2}.$$

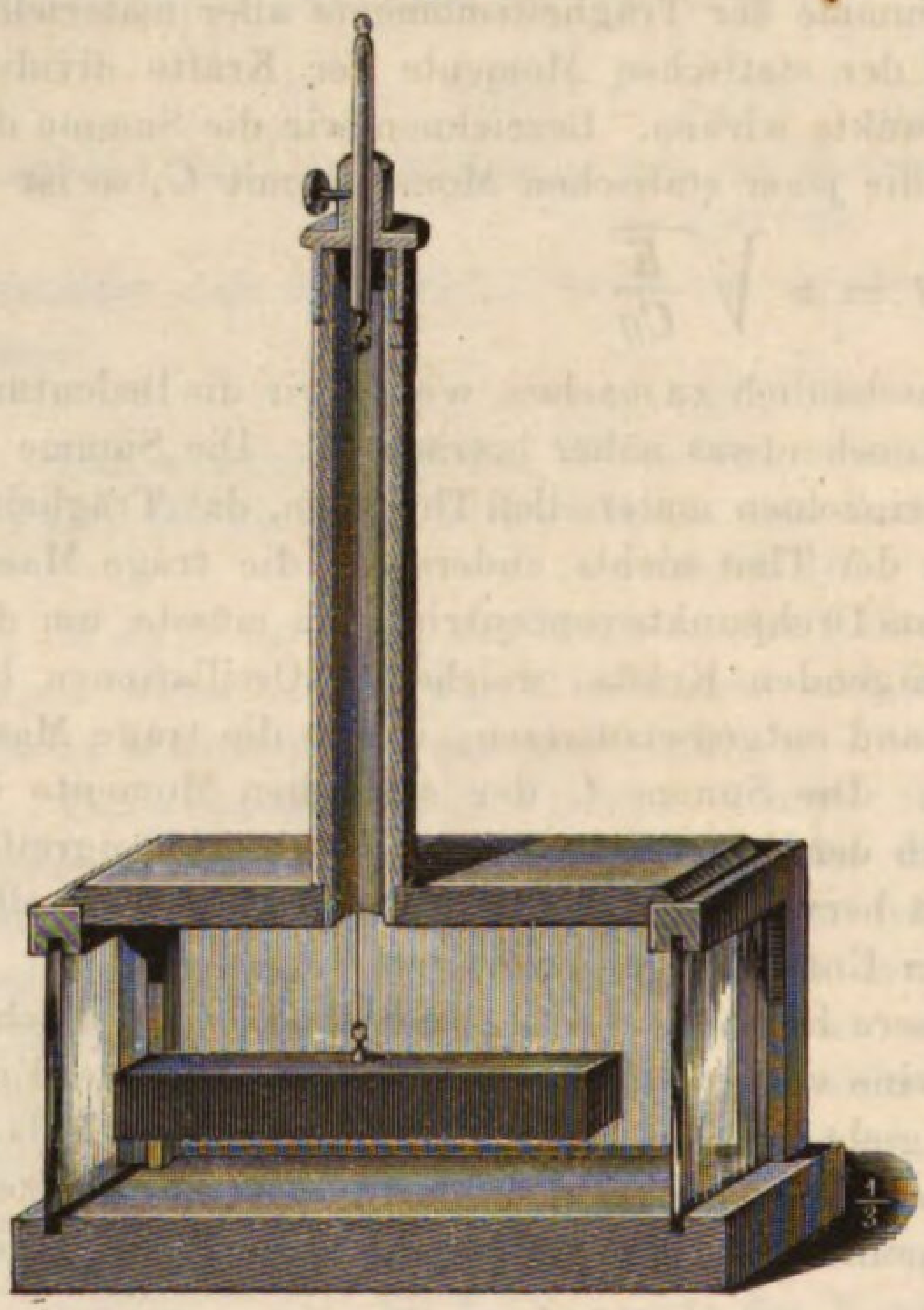
Gauss wandte zu den Schwingungsversuchen, die er zur Bestimmung der erdmagnetischen Kraft anstellte, das schon beschriebene Magnetometer an, bei welchem Apparate der Magnetstab in einem messingenen Schiffchen liegt, welches mitschwingt. Dadurch ist nun eine genaue Berechnung des Trägheitsmoments K unmöglich, und es ist deshalb nöthig, diese Grösse durch den Versuch auszumitteln, was nach den in §. 125 des ersten Bandes entwickelten Grundsätzen leicht auszuführen ist.

W. Weber hat einen ganz einfachen Apparat angegeben, um nach der Gauss'schen Methode die Intensität der erdmagnetischen Kraft zu bestimmen, der besonders Reisenden und Solchen zu empfehlen ist, die ein Magnetometer mit allem Zubehör nicht anschaffen und aufstellen können. Der Magnetstab, den Weber anwendet, ist ein möglichst genau gearbeitetes Parallelepiped von quadratischem oder fast quadratischem Querschnitt. In dem Mittelpunkte der oberen Fläche befindet sich ein Loch, welches

mit einem Schraubengewinde versehen ist, damit man ein Messingöhr einschrauben kann, wie Fig. 59 zeigt.

Das Trägheitsmoment dieses Messingöhrs ist so gering, dass es ohne Weiteres gegen das Trägheitsmoment des Magnetstabes selbst, welches aus dessen Dimensionen und seinem Gewichte leicht berechnet werden kann (Bd. I, §. 122), vernachlässigt werden darf. Um störende Luftströmungen abzuhalten, wird der Magnetstab an einem Bündel ungedrehter Seidenfäden in einem mit Glaswänden versehenen Kästchen aufgehängt, wie unsere Figur zeigt. Der hölzerne Deckel mit dem hölzernen Rohr, in welchem der Faden herabhängt, kann abgehoben werden.

Fig. 59.



Wie uns die Mechanik lehrt, findet man das Trägheitsmoment eines vierseitigen Prismas in Beziehung auf eine feste Axe, welche durch den Schwerpunkt des Prismas geht und der einen Kante parallel ist, nach der Formel $K = \frac{a^2 + b^2}{12} p$, wo a und b die Längen derjenigen Kanten bezeichnen, welche nicht mit der Umdrehungsaxe parallel sind; p ist das Gewicht des Stabes. Für Weber's Magnet war $a = 10{,}1$ Centimeter, $b = 1{,}75$ Centimeter, $p = 142$ Gramm, es ist demnach

$$K = \frac{10{,}1^2 + 1{,}75^2}{12} 142 = 1243{,}36,$$

wenn man das Gramm zur Gewichtseinheit nimmt. Der fragliche Magnetstab setzt also einer jeden beschleunigenden Kraft, die ihn um seine verticale Axe zu drehen strebt, einen eben so grossen Widerstand entgegen, wie eine träge Masse von 1243,36 Grammen, die von der Drehungsaxe um 1 Centimeter entfernt ist.

Die Dauer einer Oscillation, also t, war für den Stab 6,67 Secunden, es ergiebt sich demnach

$$C = \frac{1243{,}36 \cdot \pi^2}{g \cdot 6{,}67^2} = 0{,}2812,$$

wenn man für π^2 seinen Werth 9,8696 und für g seinen Werth 980,88 (Centimeter) setzt.

Die Zahl 0,2812 drückt die Anzahl der Gramme aus, deren Druck unter der Wirkung der Schwere auf einen 1 Centimeter langen Hebel gleich ist der Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus den Stab um seine verticale Axe zu drehen strebt, wenn er rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian steht.

Auf diese Weise ist die magnetische Kraft, welche den Stab beschleunigt, auf ein bekanntes Maass zurückgeführt. Damit ist aber der Zweck noch nicht erreicht, man hat noch keinen Werth für die magnetische Erdkraft, denn das Drehungsmoment $C = 0{,}2812$ ist noch von der Natur des Stabes abhängig. Wäre der Magnetismus des Stabes stärker oder schwächer entwickelt gewesen, so würde der Werth von C grösser oder kleiner geworden sein; ausserdem ist aber auch C der magnetischen Erdkraft proportional, es ist also

$$C = T \cdot M,$$

wenn T die magnetische Erdkraft und M den Stabmagnetismus bezeichnet, es ist also für unser Beispiel

$$T \cdot M = 0{,}2812.$$

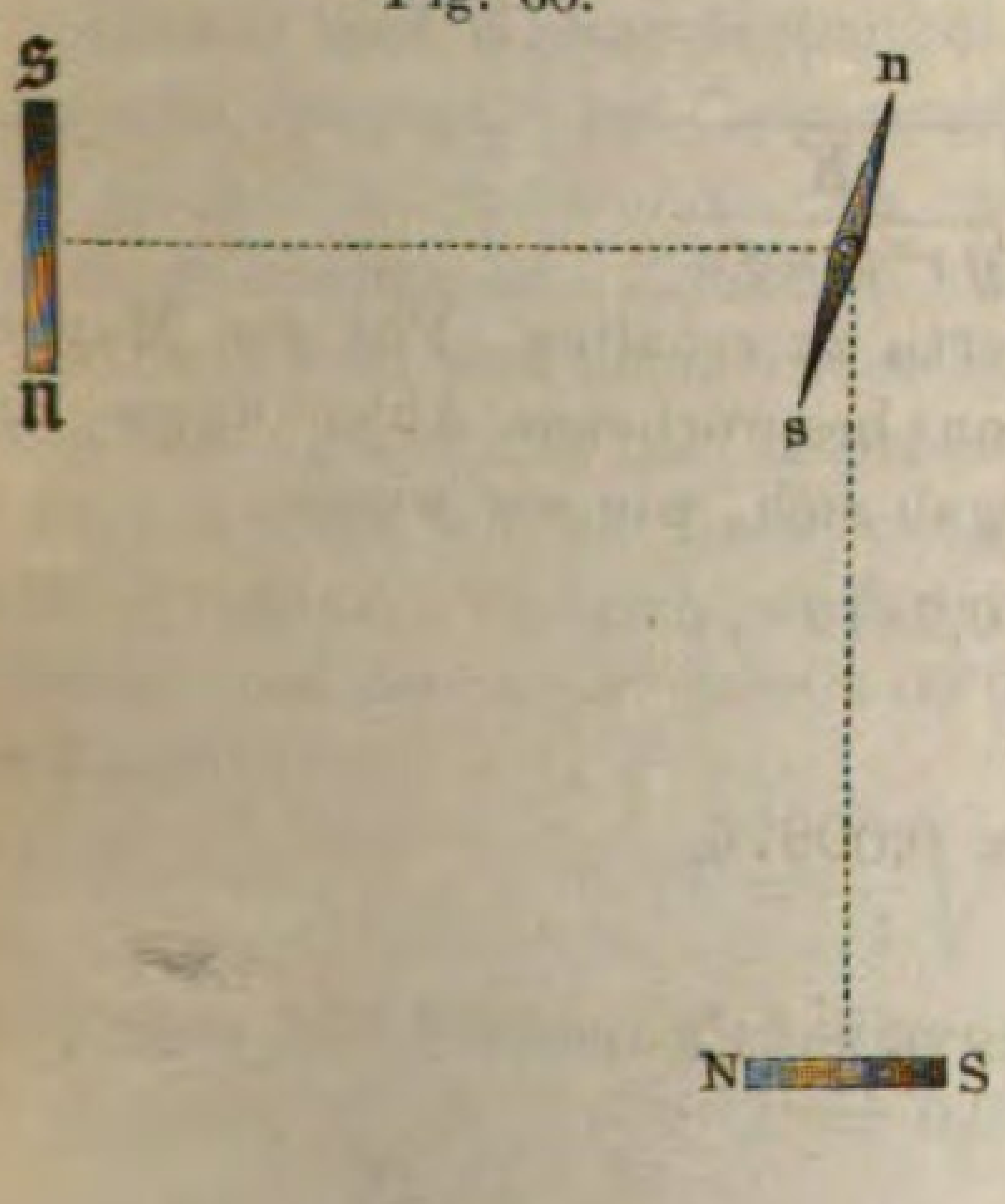
Allgemein ausgedrückt ist

$$T \cdot M = \frac{\pi^2 K}{g\, t^2} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 1)$$

Wenn es nun gelingt, noch eine andere Relation zwischen den Grössen T und M zu finden, wonach man eine zweite Gleichung zwischen T und M bilden kann, so lässt sich M, also gewissermaassen die magnetische Individualität des Stabes eliminiren und ein absoluter Werth für T finden.

Eine solche weitere Beziehung zwischen M und T ergiebt sich aber, wenn wir die Wirkung des Erdmagnetismus auf eine bewegliche Nadel mit derjenigen vergleichen, welche der horizontale Magnetstab auf dieselbe hervorzubringen im Stande ist.

Fig. 60.



Den horizontalen Theil der Wirkung, welchen der Erdmagnetismus auf eine horizontale Magnetnadel ns, Fig. 60, ausübt, können wir uns ersetzt denken durch die Wirkung eines Magnetstabes $\mathfrak{n}\,\mathfrak{s}$, der parallel dem magnetischen Meridian mit der Nadel in gleicher Horizontalebene so liegt, dass die Verbindungslinie der Mittelpunkte des Stabes und der

Nadel rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian steht und dass der Abstand dieser Mittelpunkte 1 Meter beträgt.

Die Wirkung dieses idealen Magnetstabes auf die Nadel können wir nun vergleichen mit der Wirkung, welche der Magnetstab NS auf dieselbe hervorbringt, dessen Drehungsmoment C wir soeben kennen gelernt haben, vorausgesetzt, dass dieser Magnetstab unter gleichen Verhältnissen auf die Nadel wirkt wie der ideale Magnet. Es ist dies der Fall, wenn sein gleichfalls 1 Meter von der Mitte der Nadel ns abstehender Mittelpunkt in dem magnetischen Meridian derselben liegt und seine Axe rechtwinklig zum magnetischen Meridian ist, denn jetzt strebt jeder der beiden Magnete 𝔑𝔖 und NS die Nadel mit seiner Richtung parallel zu stellen; NS strebt sie rechtwinklig auf den magnetischen Meridian zu stellen, 𝔑𝔖 strebt sie in denselben zurückzuführen, und die trigonometrische Tangente des Ablenkungswinkels giebt uns das Verhältniss der Kräfte an, mit welchen beide Stäbe auf die Nadel wirken.

Der horizontale Theil des Erdmagnetismus oder der denselben vertretende Magnetstab 𝔑𝔖 dreht die Nadel mit der Kraft mT, der Stab NS wirkt auf dieselbe, nach entgegengesetzter Richtung drehend, mit der Kraft mM, wenn m das magnetische Moment der Nadel ns bezeichnet, M und T aber die soeben besprochene Bedeutung haben. Nun aber ist

$$\frac{mM}{mT} = \frac{M}{T} = r^3 \, tang \, v \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 2)$$

denn das reducirte Drehungsmoment $r^3 \, tang \, v$ ist ja die Tangente des Ablenkungswinkels, welche der Stab in der bezeichneten Lage bei 1 Meter Entfernung von der Nadel bewirkt. Aus der Combination der Gleichungen

$$TM = \frac{\pi^2 K}{g t^2}$$

und

$$\frac{M}{T} = r^3 \, tang \, v$$

ergiebt sich aber

$$T = \frac{\pi}{t}\sqrt{\frac{K}{g r^3 \, tang \, v}}.$$

Suchen wir nun für T einen Zahlenwerth zu erhalten. Für den Magnetstab, mit welchem Weber die schon besprochenen Ablenkungs- und Schwingungsversuche gemacht hat, ergab sich, wie wir wissen,

$$T \, . \, M = 0{,}2812 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad a)$$

und das reducirte Drehungsmoment

$$r^3 \, tang \, v = 0{,}00876,$$

folglich auch

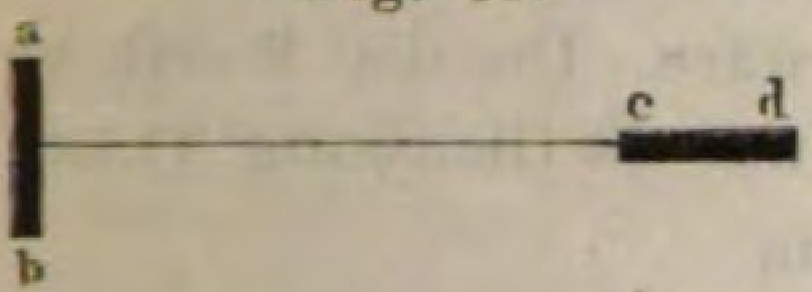
$$\frac{M}{T} = 0{,}00876 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad b)$$

Aus der Combination der beiden Gleichungen a) und b) ergiebt sich aber

$$T = 5{,}65.$$

Wir haben jetzt für T einen numerischen Werth gefunden, und nun kommt es darauf an, die Einheit genauer zu definiren, auf welche sich dieser Zahlenwerth bezieht.

Fig. 61.



Wenn in einem Magnetstabe ab, Fig. 61, die Einheit des freien Magnetismus entwickelt ist, so wird er einen gleich stark magnetischen Stab cd, welcher sich auf dem in der Mitte von ab errichteten Perpendikel befindet und dessen Mittelpunkt 1 Meter weit vom Mittelpunkte des Stabes ab entfernt ist, aus der in der Fig. 61 angedeuteten Stellung mit einer Kraft zu drehen streben, welche gleich ist dem statischen Moment von 1 Gramm, welches an einem Hebelarm von 1 Centimeter angreift.

Wenn die Intensität des horizontalen Theils des Erdmagnetismus $T = 5{,}65$ ist, so heisst das, der Erdmagnetismus wird einen Magnetstab, welcher rechtwinklig zum magnetischen Meridian steht, und in welchem die Einheit des freien Magnetismus entwickelt ist, mit einer Kraft drehen, welche gleich ist dem statischen Momente von 5,65 Gramm, an dem Hebelarm 1 Centimeter angreifend.

Wir haben oben gesehen, dass für den Weber'schen Versuchsstab $MT = 0{,}2812$ ist. Da nun $T = 5{,}65$, so ist für diesen Stab $M = 0{,}0495$; der in demselben entwickelte freie Magnetismus beträgt also $^{495}/_{10000}$ von demjenigen, welchen wir zur Einheit der magnetischen Kraft genommen haben.

Die eben gemachte Bestimmung der horizontalen Intensität des Erdmagnetismus bezieht sich auf Göttingen. Für andere Orte wird man andere Werthe von T erhalten und zwar wächst die Stärke des horizontalen Theils des Erdmagnetismus um so mehr, je mehr man sich dem magnetischen Aequator nähert.

Gauss und Weber legten bei der numerischen Bestimmung der horizontalen Intensität des Erdmagnetismus nach absolutem Maasse andere Einheiten zu Grunde, als es eben des leichteren Verständnisses wegen geschehen ist. Zunächst nehmen sie das Milligramm zur Gewichtseinheit und nehmen den Angriffspunkt 1 Millimeter weit von der Drehungsaxe, ferner beziehen sie das reducirte Drehungsmoment $r^3 \, tang \, v$ nicht auf die Entfernung von 1 Meter, sondern auf die von 1 Millimeter. Dadurch wird der Werth von K 100 000mal, der von g 10mal und der von r^3 1000 000 000mal grösser und man erhält nach der Formel

$$T = \frac{\pi}{t}\sqrt{\frac{K}{g r^3 \, tang \, v}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

für T den 100 $\sqrt{10}$mal kleineren Werth

$$T = 0{,}0179.$$

Nun aber ist die Intensität der Schwerkraft nicht für alle Orte der Erde dieselbe, oder, mit anderen Worten, der in obiger Gleichung vorkommende Werth von g ist selbst eine variable Grösse. Um nun T auf ein durchaus absolutes Maass zurückzuführen, muss man statt der Schwere eine andere Krafteinheit substituiren, und zwar nehmen jene Physiker als eine Einheit der Kraft diejenige an, unter deren Einfluss der Fallraum der ersten Secunde nicht g, sondern 1 Millimeter wäre. Um den Werth von T auf diese Krafteinheit zu reduciren, hat man nur die Gleichung 1) noch mit $\sqrt{g}$ zu multipliciren; es ergiebt sich alsdann

$$T = \frac{\pi}{t}\sqrt{\frac{K}{r^3 \, tang \, v}}.$$

Multiplicirt man den Werth $T = 0{,}0179$ mit $\sqrt{g}$ (für Göttingen ist $g = 9808$ Millimeter), so ergiebt sich nach absolutem Maass für Göttingen,

$$T = 1{,}774.$$

Nach derselben Einheit war die horizontale Intensität des Erdmagnetismus im Jahre 1845 für

München . . .	1,94
Genf	1,98

Die bisher besprochene von Weber vereinfachte Beobachtungsmethode zur Bestimmung der horizontalen Intensität des Erdmagnetismus giebt Resultate, welche bis auf die Grösse der täglichen Variationen genau sind.

Der oben ermittelte Werth von T ist nicht der Werth der totalen Intensität der magnetischen Erdkraft, sondern nur der ihrer horizontalen Composante. Die Intensität der totalen magnetischen Erdkraft ist

$$J = \frac{T}{\cos i},$$

wo für i der Inclinationswinkel zu setzen ist.

23 **Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus mit dem magnetischen Theodolit.** Um mit seinem magnetischen Theodolit auch die horizontale Intensität des Erdmagnetismus bestimmen zu können, hat Lamont die entsprechenden Vorrichtungen an demselben angebracht.

Nach den im vorigen Paragraphen entwickelten Principien sind zur Bestimmung der horizontalen Intensität zwei gesonderte Beobachtungen nöthig, nämlich 1) die Beobachtung der Ablenkung, welche ein Magnetstab an einer Declinationsnadel bewirkt, und 2) die Beobachtung der Schwingungen, welche das Ablenkungsstäbchen unter dem Einfluss des Erdmagnetismus macht.

Für die Ablenkungsversuche wird an dem magnetischen Theodolit eine Ablenkungsschiene PP aufgesetzt, wie man es Fig. 62 sieht, und nachdem das Instrument so eingestellt worden ist, dass die Axe des Fernrohrs normal steht auf der Ebene des Magnetspiegels und man für diese Stellung den Nonius abgelesen hat, wird nun der Ablenkungsmagnet an

dem einen Ende der Schiene aufgelegt. — Damit er immer genau auf dieselbe Stelle kommt, ist auf der Schiene, wie man Fig. 63 sieht, welche

Fig. 62.

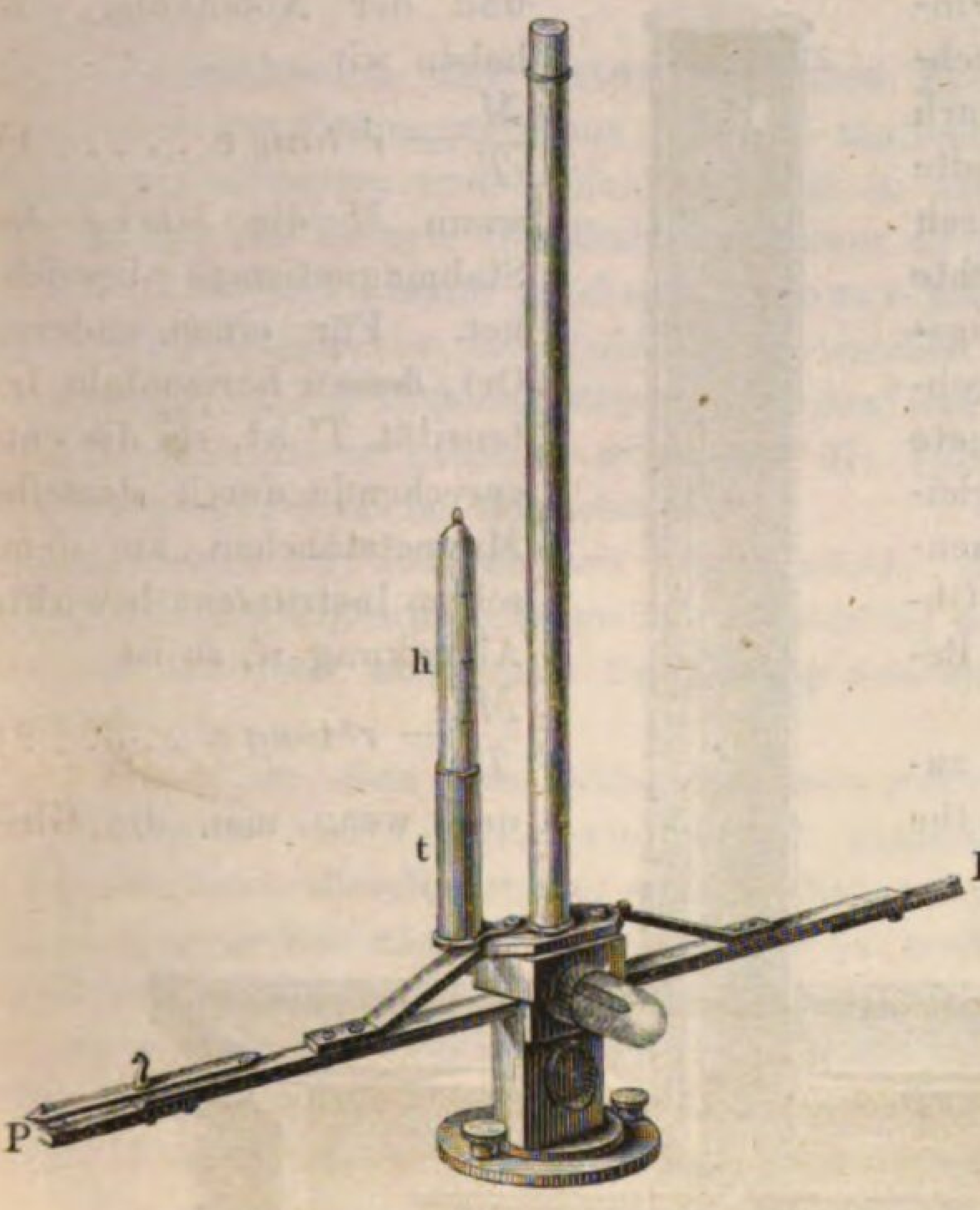
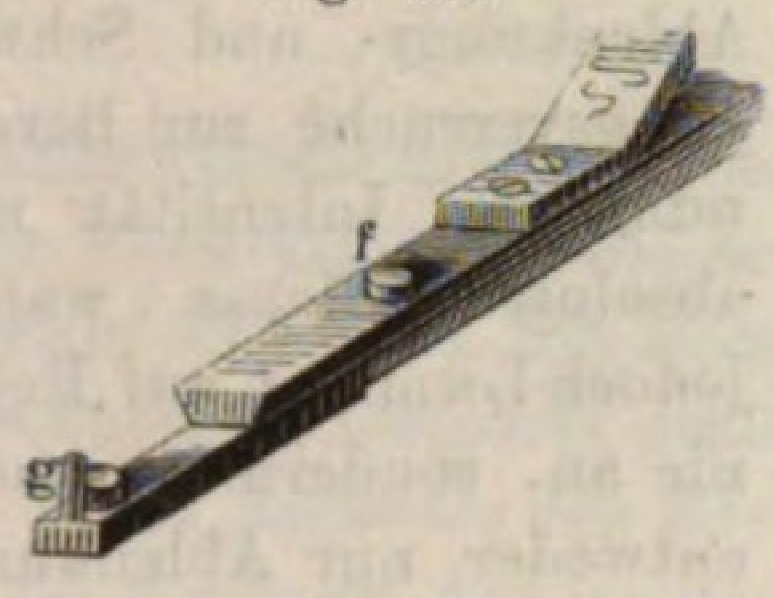


Fig. 63.



das eine Ende der Schiene in grösserem Maassstabe darstellt, ein Knopf f und am Ende derselben eine kleine Feder g befestigt, welche genau in zwei Löcher des Magnetstäbchens passen.

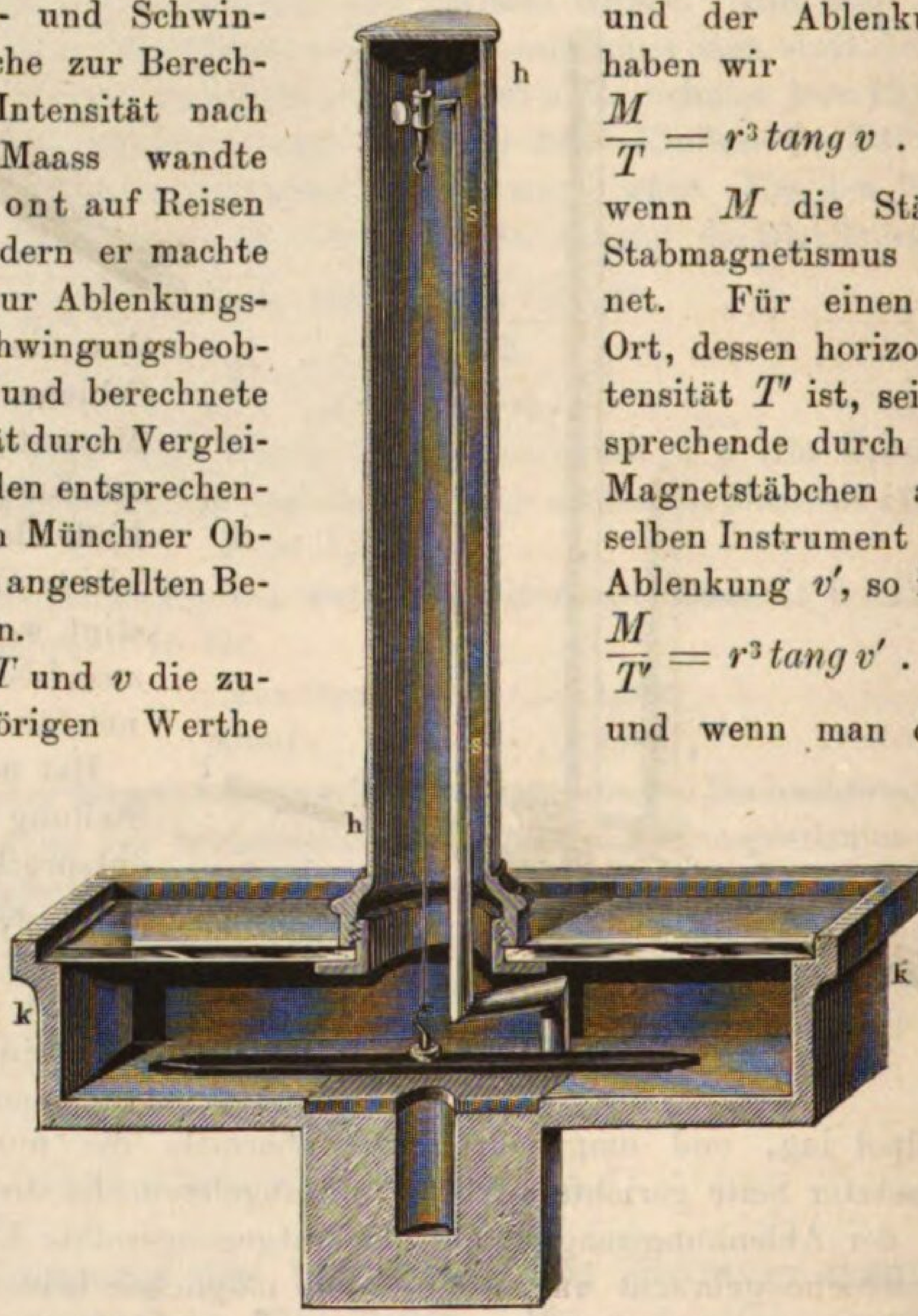
Hat man die dieser Stellung des Magnets entsprechende Ablenkung abgelesen, so wird der Ablenkungsmagnet so umgelegt, dass sein Nordpol dahin kommt, wo eben sein Südpol lag, und umgekehrt, und abermals die nun nach entgegengesetzter Seite gerichtete Ablenkung abgelesen. Ist dies geschehen, so wird der Ablenkungsmagnet auf das entgegengesetzte Ende der Ablenkungsschiene gebracht und für die dort möglichen beiden Stellungen des Ablenkungsmagnets ebenfalls die entsprechende Ablenkung abgelesen. So erhält man für die Ablenkung vier Werthe, aus denen das Mittel genommen und in Rechnung gebracht wird.

Die Gesammtlänge der Ablenkungsschiene beträgt 34, die Länge des Ablenkungsmagnets beträgt 8 Centimeter.

Um die Schwingungsversuche zu machen, wird der Ablenkungsmagnet mittelst eines ungedrehten Seidenfadens an einem messingenen Säulchen s, Fig. 64 (a. f. S.) aufgehängt. Um den Magnet vor störenden Luftströmungen zu schützen, wird das Messingsäulchen in ein Holzkästchen kk eingesetzt, welches oben mit einer Glasplatte zugedeckt wird. Unsere Figur zeigt die ganze Vorrichtung in $1/2$ der natürlichen Grösse, und zwar gerade in der Mitte durchgeschnitten. Die Mitte dieser Glasplatte ist durchbohrt, so dass das Messingstäbchen und der die Nadel tragende Faden hindurchgeht. Um den Rand dieser Oeffnung ist ein Schraubengewinde auf-

gekittet, auf welches die Messinghülse *h* aufgeschraubt wird, durch welche auch der Seidenfaden vor störendem Luftzug geschützt ist.

Fig. 64.



Eine Combination der Ablenkungs- und Schwingungsversuche zur Berechnung der Intensität nach absolutem Maass wandte jedoch Lamont auf Reisen nie an, sondern er machte entweder nur Ablenkungs- oder nur Schwingungsbeobachtungen und berechnete die Intensität durch Vergleichung mit den entsprechenden in dem Münchner Observatorium angestellten Beobachtungen.

Sind T und v die zusammengehörigen Werthe der horizontalen Intensität und der Ablenkung, so haben wir

$$\frac{M}{T} = r^3 \tang v \; . \; . \; . \; . \; . \; 1),$$

wenn M die Stärke des Stabmagnetismus bezeichnet. Für einen anderen Ort, dessen horizontale Intensität T' ist, sei die entsprechende durch dasselbe Magnetstäbchen an demselben Instrument bewirkte Ablenkung v', so ist

$$\frac{M}{T'} = r^3 \tang v' \; . \; . \; . \; . \; . \; 2),$$

und wenn man die Gleichung 2) in die Gleichung 1) dividirt,

$$\frac{T'}{T} = \frac{\tang v}{\tang v'},$$

oder

$$T' = T \frac{\tang v}{\tang v'};$$

kennt man also T, v und v', so kann man nach dieser Formel T' berechnen.

So fand man z. B. die zusammengehörigen Werthe von T und v im Jahre 1850 zu München gleich 1,952 und 49° 50′. Mit demselben Reisetheodolit und demselben Magnetstäbchen ergab sich zu Aschaffenburg eine Ablenkung von 51° 50′, die horizontale Intensität T' für Aschaffenburg ist demnach

$$T' = 1{,}952 \cdot \frac{\tang 49^0\, 50'}{\tang 51^0\, 50'} = 1{,}859.$$

Für die genaue Berechnung der horizontalen Intensität sind nun gleichfalls Correctionen wegen der Temperatur u. s. w. nöthig, welche hier nicht weiter besprochen werden können.

24 **Variationen der Intensität des Erdmagnetismus.** Die Intensität des Erdmagnetismus hat ihre täglichen Variationen gerade so wie die Declination und Inclination, erst in neuerer Zeit aber hat man diesem für die Theorie des Erdmagnetismus so wichtigen Elemente eine grössere Aufmerksamkeit geschenkt. Gauss hat einen Apparat, das Bifilarmagnetometer, construirt, durch welchen die geringste Aenderung der Intensität des Erdmagnetismus nachgewiesen und dem Auge ganz in der Weise sichtbar gemacht wird, wie die Variationen der Declination durch das gewöhnliche Magnetometer.

Wenn es uns auch zu weit führen würde, die Einrichtung und den Gebrauch des Bifilarmagnetometers vollständig auseinander zu setzen, so müssen wir doch wenigstens das Princip kennen lernen, auf welchem es beruht.

Wir haben oben eine Methode kennen gelernt, mittelst deren man die Intensität des Erdmagnetismus mit ausserordentlicher Genauigkeit ermitteln kann; dieselbe ist aber unbrauchbar, sobald es sich darum handelt, die täglichen Variationen der Intensität zu beobachten. Jene Methode zur Bestimmung der magnetischen Intensität beruht nämlich auf der Verbindung mehrerer Operationen, welche sämmtlich eine nicht ganz kurze Zeit in Anspruch nehmen, während welcher sich die Intensität ändern kann; man erhält auf diese Weise also nur Mittelwerthe der Intensität, es bleibt ganz verborgen, ob und welche Variationen sie während dieser Zeit erlitten hat.

Die Schwingungsdauer eines Magnetstabes, deren genaue Ermittelung namentlich eine etwas längere Zeit in Anspruch nimmt, dient nur dazu, mittelbarer Weise das Drehungsmoment zu bestimmen, welches die erdmagnetische Kraft dem Stabe ertheilt, wenn er sich nicht im magnetischen Meridian befindet. Mit Hülfe des Gauss'schen Bifilarmagnetometers kann man dieses Drehungsmoment auf directem Wege ohne Schwingungsbeobachtungen scharf bestimmen und seine Veränderungen sicher und schnell messen.

Wenn ein Körper, welcher nur durch die Schwerkraft sollicitirt wird, an zwei Fäden aufgehängt ist, so befindet er sich nur dann im Gleichgewichte, wenn die beiden Fäden in einer Ebene liegen, und wenn der Schwerpunkt des Körpers sich in derselben Ebene zwischen der verlängerten Richtung der beiden Fäden befindet. Sobald man aber den Körper aus dieser Gleichgewichtslage herausdreht, so werden die Fäden gleichsam spiralförmig gewunden, wodurch in ihnen ein Bestreben entsteht, den Körper in seine Gleichgewichtslage zurückzuführen. Die Grösse dieser richtenden Kraft hängt von der Länge der Fäden, von ihrer Entfernung und von der Grösse des Gewichtes ab, welches sie zu tragen haben.

Das Wesentliche der Einrichtung eines Bifilarmagnetometers ist aus Fig. 65 und 66 zu ersehen. Von einer Rolle, Fig. 66, deren Scheere in

Fig. 66.

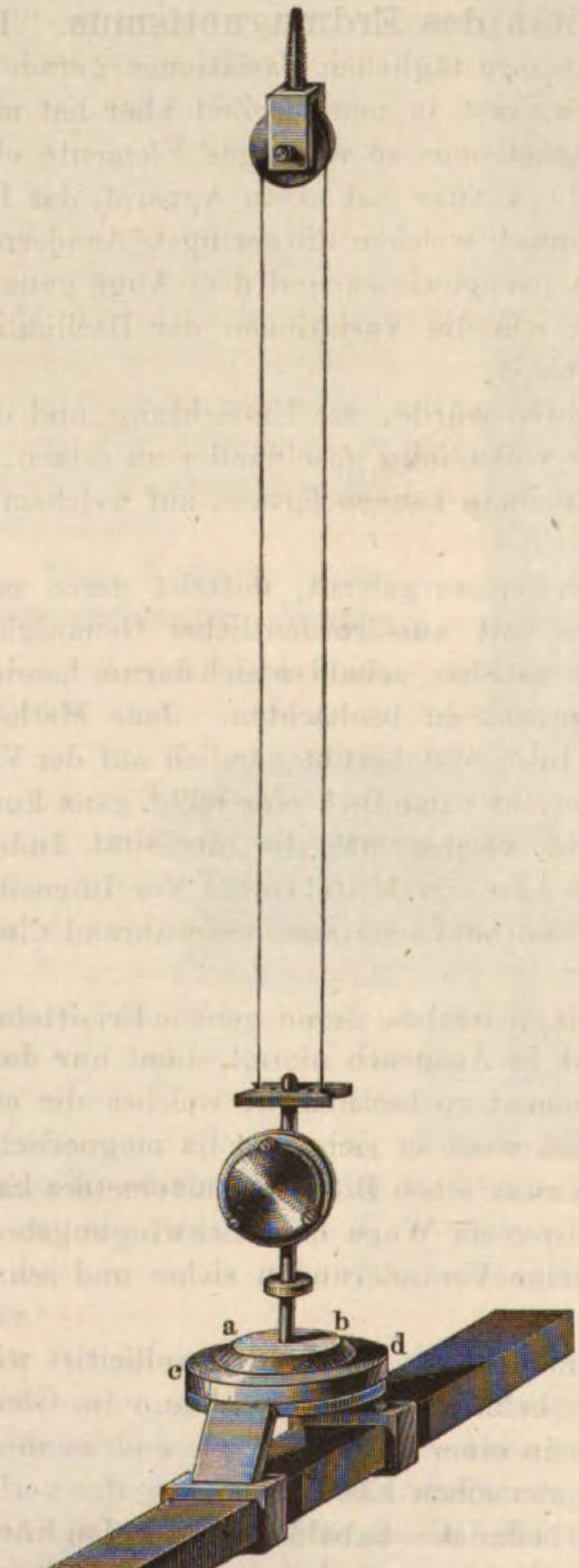
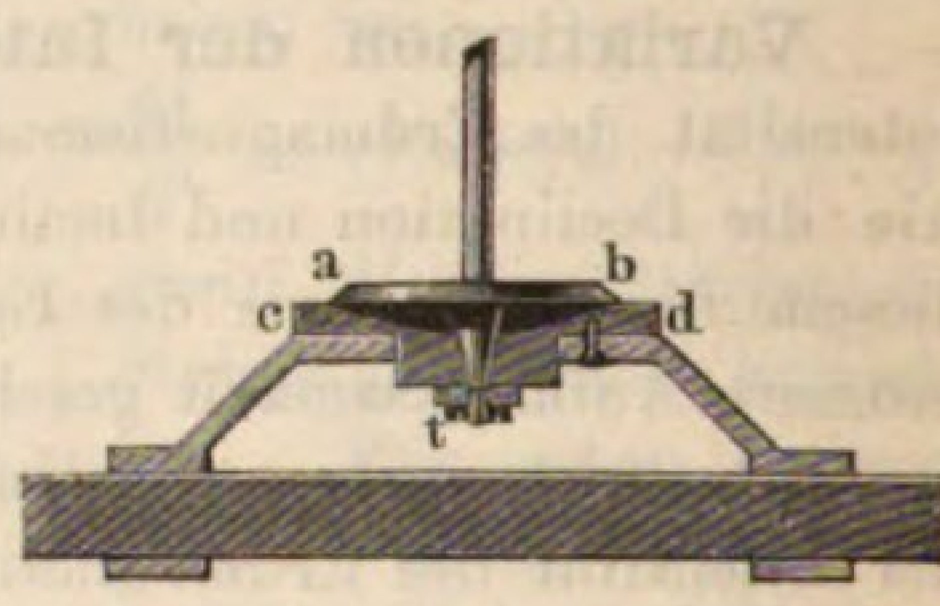


Fig. 65.



die Decke des Beobachtungslocales eingeschraubt wird, hängen die beiden Drähte herab, welche das Magnetometer tragen. Das Stäbchen, welches den Spiegel trägt, endigt unten in einer kreisförmigen Scheibe *a b*; an der unteren Fläche dieser Scheibe sitzt ein konischer Zapfen, um welchen die Metallscheibe *c d* beliebig gedreht und durch Anziehen der Schraubenmutter *t* in jeder beliebigen Stellung festgestellt werden kann, wie durch Fig. 65 wohl verständlich sein wird. An der Scheibe *c d* ist dann das Schiffchen mit dem Magnetstab in unveränderlicher Weise befestigt.

Diese Vorrichtung, welche es möglich macht, den Magnetstab in seiner Horizontalebene beliebig zu drehen, ohne die gegenseitige Lage der Aufhängefäden zu ändern, wird der Torsionskreis genannt.

Während nun die Aufhängefäden den Apparat stets so zu stellen streben, dass sie ohne Torsion in einer und derselben Verticalebene liegen, äussert der Erdmagnetismus ein Bestreben, die Axe des Magnetstabes in den magnetischen Meridian zu stellen; es wird sich also in der

That die Axe des Magnetstabes zwischen dem magnetischen Meridian und derjenigen Linie einstellen, in welche der Stab durch die Torsionskraft der Fäden gebracht werden würde, wenn er nicht magnetisch wäre. Mit Hülfe des Torsionskreises kann man es leicht dahin bringen, dass die oben bezeichnete Zwischenlage einen beliebigen Winkel mit dem magnetischen Meridian macht, und zur Beobachtung der Variationen der Intensität wird der Torsionskreis so gedreht, dass das Gleichgewicht stattfindet, wenn die Axe des Magnetstabes nahezu rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian steht.

Es ist klar, dass unter diesen Umständen die geringste Aenderung in der Intensität des Erdmagnetismus die Lage des Magnetstabes ändern müsse; wenn sie stärker wird, so nähert er sich dem magnetischen Meridian, wenn sie abnimmt, so entfernt er sich von demselben. Da nun die Intensität des Erdmagnetismus fortwährend variirt, so schwankt der Magnetstab fortwährend in derselben Weise wie der Magnetstab eines einfachen Magnetometers; die Veränderungen in der Lage des Stabes werden auf dieselbe Weise beobachtet wie beim Magnetometer.

Vertheilung des Magnetismus in Magnetstäben. Schon beim Eintauchen in Eisenfeilspäne haben wir gesehen, dass die Anziehung an den Enden eines Stabes am grössten und dass sie in seiner Mitte gleich Null ist. 25

Das Gesetz, nach welchem die Stärke der magnetischen Wirkung von den Enden eines magnetischen Stabes nach seiner Mitte hin abnimmt, hat Coulomb durch eine Reihe sorgfältiger Versuche ermittelt. Er hing eine kleine, ungefähr 7 Linien lange Probirnadel an einem einfachen Seidenfaden auf und liess sie zuerst nur unter dem Einflusse des Erdmagnetismus oscilliren; er näherte alsdann den zu untersuchenden Stab der Nadel in verticaler Richtung, so dass er sich im magnetischen Meridian der Nadel befand. Wenn er den Südpol des Stabes dem Nordpole der Nadel näherte, so wurden die Oscillationen beschleunigt, allein die Beschleunigung der Nadel war ungleich, je nachdem verschiedene Stellen des Stabes der Nadel gegenüber standen, die Schwingungen wurden nämlich um so langsamer, je mehr die der Nadel gegenüber gehaltenen Stellen sich der Mitte des Magnetstabes näherten. Wenn die Nadel der Mitte des Stabes gegenüber stand, oscillirte sie gerade so schnell, als ob der Stab gar nicht da wäre. Aus der für jede Stelle des Stabes beobachteten Schwingungsdauer konnte man auf die Stärke ihrer magnetischen Anziehung auf dieselbe Weise schliessen, die wir schon oben kennen gelernt haben.

Die Resultate seiner Beobachtungen lassen sich, wie Fig. 68 geschehen ist, graphisch darstellen. Es stellt ma die eine Hälfte eines Magnetstabes dar, m ist seine Mitte, a das eine Ende, von welchem aus die Abscissen nach Centimetern gemessen sind. Die an verschiedenen Stellen errichteten Ordinaten sind der an dieser Stelle beobachteten magnetischen Intensität proportional nach einer beliebigen Einheit aufgetragen. Man sieht, dass

am Ende a die Intensität am grössten ist, dass sie von a gegen die Mitte hin anfangs sehr rasch abnimmt und in der Mitte Null wird. Die Curve hat für alle Stäbe, deren Länge mehr als 25 Centimeter beträgt, genau dieselbe Gestalt, so dass in der Mitte ein mehr oder weniger grosser Raum sich befindet, für welchen die Intensität so gut wie Null ist. Biot hat für diese Intensitätscurve die empirische Gleichung

Fig. 67.

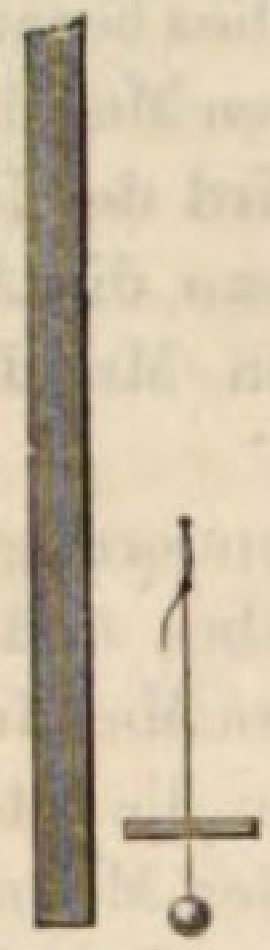
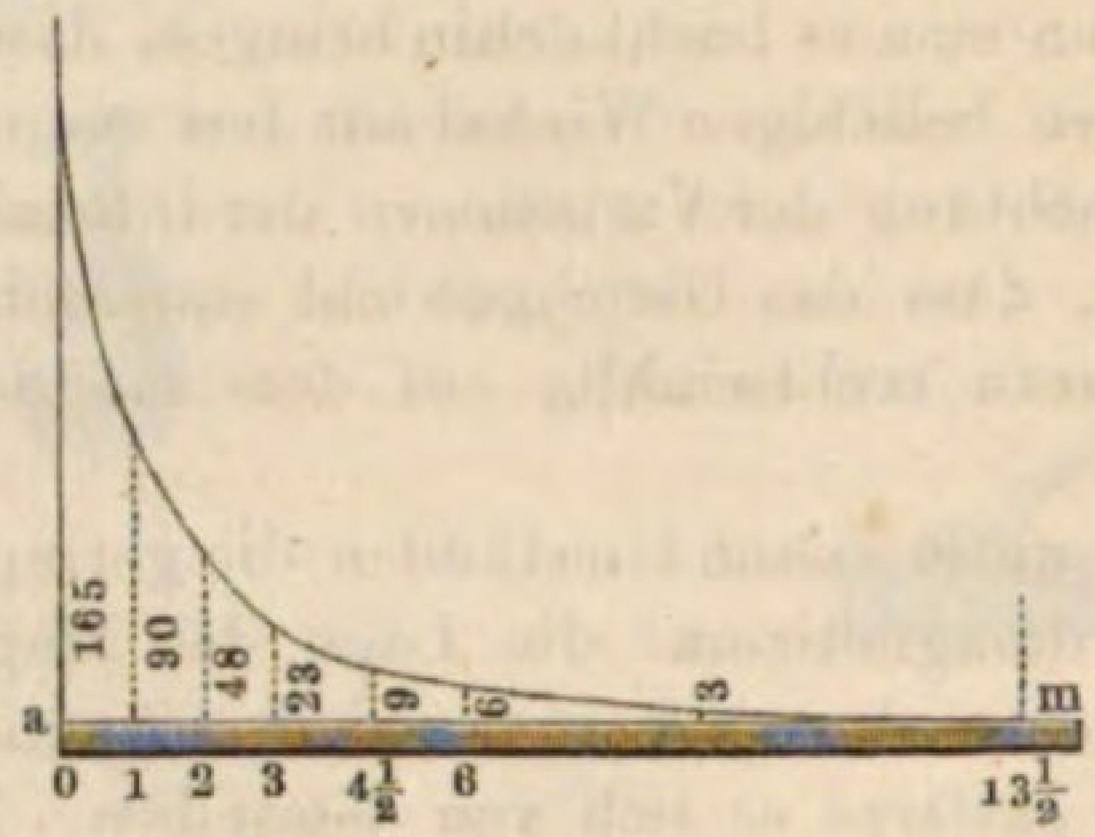


Fig. 68.

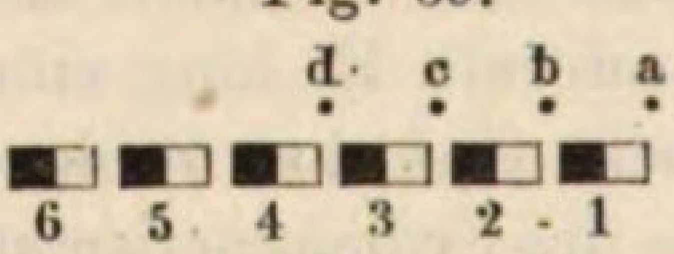


$$y = A\,(m^x - m^{2l-x})$$

aufgestellt, in welcher $2l$ die Länge des Stabes bezeichnet, während A und m Constante sind. Die Abscissen x werden von dem einen Ende des Stabes in der Richtung gegen das andere Ende hin gezählt.

Die nach den Enden eines Magnetstabes hin immer stärker werdende magnetische Intensität lässt sich aus der Vorstellung, die man sich von einem Magnet macht, sehr leicht erklären. Es stelle Fig. 69 eine Reihe von Partikeln vor, welche einen Magnetstab bilden. In jedem Partikel sind die beiden Fluida getrennt und auf dieselbe Weise gerichtet. Es befinde sich nun in a ein magnetisches Element, welches mit dem Magnetismus der schwarzen Stellen von gleicher Natur ist. Die eine Hälfte des mit 1 bezeichneten Partikelchens zieht es an, die andere Hälfte stösst es ab, die Anziehung ist aber vorherrschend, weil die weisse Hälfte des Partikelchens 1 dem Punkte a näher liegt. Wir wollen die Resultirende der beiden Kräfte, also die Anziehung, welche das Partikel 1 als Ganzes auf a ausübt, mit r bezeichnen. Das Partikel 2 wirkt ganz auf dieselbe Weise auf das Element in a, nur ist seine Totalwirkung r' wegen der grösseren Entfernung bedeutend kleiner. Noch kleiner ist die Wirkung r'' des Partikelchens 3 auf das Element in a u. s. w. Die Totalanziehung des Magnetstabes auf das Element a lässt sich also durch die Summe

Fig. 69.



$$S = r + r' + r'' + r''' + \text{u. s. w.}$$

darstellen, wo jedes folgende Glied immer kleiner ist als das vorhergehende. Befände sich das Element, auf welches der Stab wirkt, nicht in a, sondern in b, so würde sich die Wirkung der beiden Partikelchen 1 und 2 offenbar aufheben, das Theilchen 3 ist das erste, dessen Wirkung in Betracht zu ziehen ist; es ist aber von b so weit entfernt, wie 2 von a; die Kraft, mit welcher das Partikelchen in 3 das Element in b anzieht,

ist also ungefähr gleich r', kurz, die Totalwirkung des Stabes auf b ist demnach

$$S' = r' + r'' + r''' + \text{u. s. w.}$$

Dass S' schon bedeutend kleiner sein muss als S, ergiebt sich daraus, dass man den Werth von S' erhält, wenn man von dem Werthe von S das grösste Glied der Reihe, nämlich r, wegnimmt.

Befände sich das magnetische Element, auf welches der Stab wirkt, in c, so würden sich die Wirkungen von 1 und 4, von 2 und 3 aufheben. Das Theilchen 5 ist also gewissermaassen das nächste, welches auf c wirkt, und seine Wirkung lässt sich durch r'' ausdrücken; den Totaleffect des Stabes auf c aber drückt die Reihe

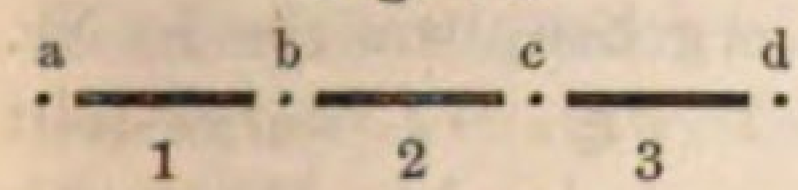
$$S'' = r'' + r''' + \text{u. s. w.}$$

aus, welche wieder bedeutend kleiner ist als S'. In der Weise kann man nun fortschliessen und findet auch leicht, dass die Wirkung in der Mitte des Stabes gleich Null sein müsse.

Van Rees hat untersucht, ob wohl durch die ganze Länge des Magnetstabes hindurch die magnetische Polarität der einzelnen Partikelchen gleich stark, oder ob sie in der Mitte des Stabes oder an seinen Enden am stärksten entwickelt ist. In etwas veränderter Form ist seine Schlussweisse folgende:

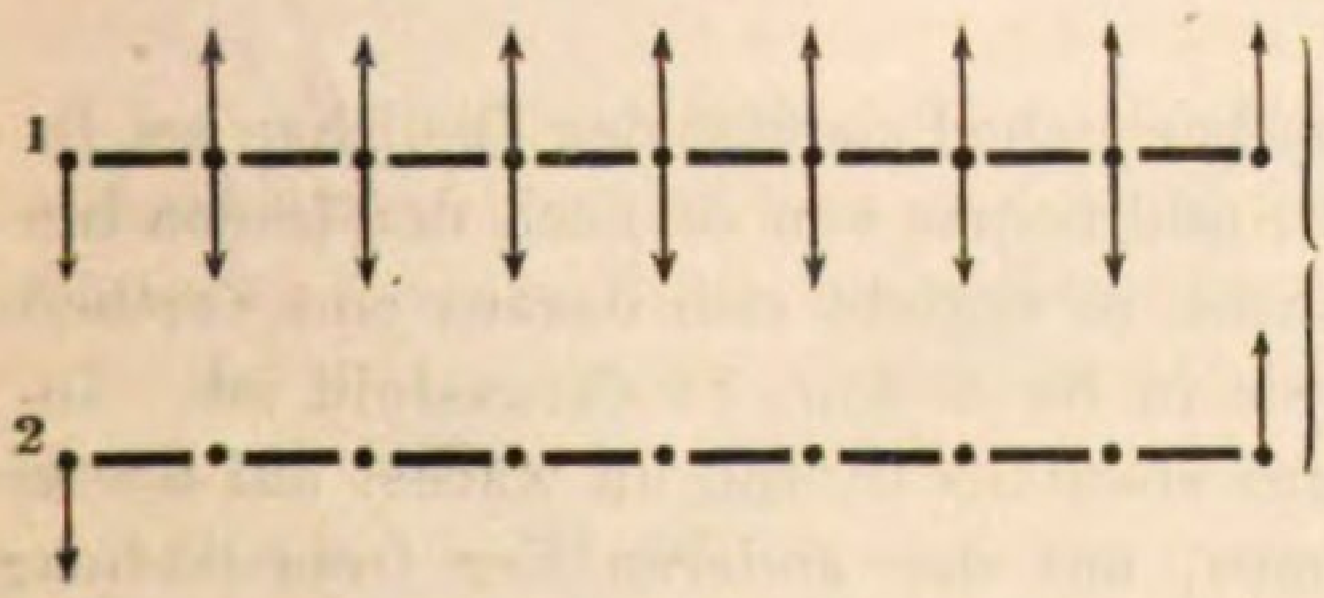
Sind 1, 2, 3, Fig. 70, eine Reihe magnetischer Partikelchen, so kann man sich die Wirkung, welche jedes einzelne in der Ferne hervorbringt, daher rührend denken, dass eine bestimmte Menge der beiden magnetischen Flüssigkeiten gerade an den entgegengesetzten Endpunkten eines jeden Partikelchens angehäuft sei. Statt dessen kann man sich aber auch die entsprechenden Mengen der magnetischen Fluida immer in den Punkten vereinigt denken, welche in der Mitte zwischen zwei Partikelchen liegen; es wären also gewissermaassen a und b die Pole von 1, b und c die von 2, c und d die von 3. In a wäre der Nordmagnetismus von 1, in d der Südmagnetismus von 3; in b fällt der Südmagnetismus von 1 und der Nordmagnetismus von 2 zusammen. Der Nordmagnetismus von 3 fällt mit dem Südmagnetismus von 2 auf den Punkt c.

Fig. 70.



Halten wir diese Vorstellungsweise fest, so lässt sich leicht entwickeln, welche Erscheinungen ein Magnetstab hervorbringen muss, je nachdem alle seine Partikelchen gleich stark magnetisch sind, oder die Polarität der Partikelchen von der Mitte zu den Enden hin zu- oder abnimmt. Betrachten wir die drei Fälle näher.

Fig. 71.



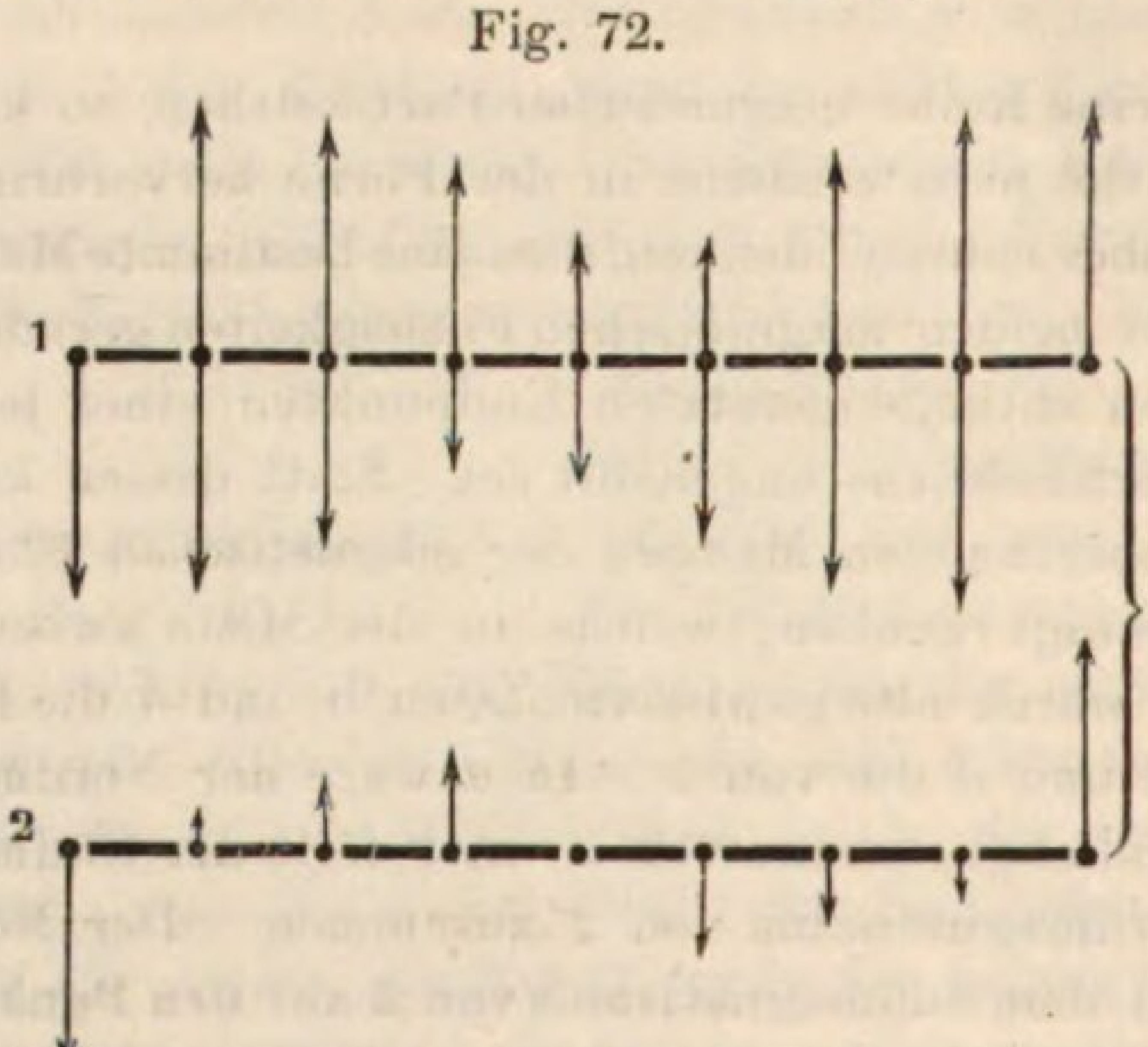
1. Die magnetische Polarität sei in allen Partikelchen der ganzen Länge des Stabes nach gleich stark entwickelt, so stellt uns Nr. 1, Fig. 71,

den Zustand eines solchen Stabes dar, wenn wir durch die aufwärts gerichteten Pfeilchen den Nord-, durch die abwärts gerichteten den Südmagnetismus darstellen. Da nun in jedem dieser Punkte gleich viel Nordmagnetismus (dem Theilchen links zugehörig) und gleich viel Südmagnetismus (dem Theilchen rechts zugehörig) zusammenfällt, so kann in allen diesen Punkten kein freier Magnetismus auftreten, und wenn wir nur den freien Magnetismus berücksichtigen, so stellt uns also Nr. 2 Fig. 71 den Zustand des Stabes vor. Freier Magnetismus zeigt sich nur an den Endflächen, im Uebrigen ist der ganzen Länge des Stabes nach kein freier Magnetismus mehr vorhanden. Ein solcher Magnet müsste also nach aussen gerade so wirken, als ob seine Endflächen allein magnetisch wären, und zwar die eine mit Nord-, die andere mit Südmagnetismus beladen.

Da dies nun bei magnetischen Stahlstäben in der That nicht der Fall ist, so folgt, dass eine solche gleichförmige Vertheilung der freien magnetischen Fluida über den ganzen Stab hin in der That nicht stattfindet.

2. Wenn die magnetische Polarität der Theilchen in der Mitte am schwächsten entwickelt wäre und gegen die Enden hin zunähme, wie dies in Nr. 1 Fig. 72 versinnlicht ist, so würde sich eine Vertheilung des freien Magnetismus ergeben, wie sie in Nr. 2 Fig. 72 dargestellt ist. In der Mitte des Magnets würde der freie Magnetismus 0 sein und von dort gegen die Enden anfangs zu- und dann wieder abnehmen, um in den entgegengesetzten Magnetismus überzugehen; auf der einen Hälfte des Stabes wäre also freier Nordmagnetismus, während die Endfläche südmagnetisch ist; die andere Hälfte mit freiem Südmagnetismus hätte ein nordmagnetisches Ende. Eine so sonderbare Vertheilung des freien Magnetismus findet bekanntlich bei normal magnetisirten Stahlstäben durchaus nicht statt.

Fig. 72.



3. Nehmen wir an, die magnetische Polarität der Theilchen sei in der Mitte am stärksten entwickelt, und nehme von da nach den Enden hin ab, wie es Nr. 1 Fig. 73 versinnlicht, so ergiebt sich daraus eine Vertheilung des freien Magnetismus, wie sie in Nr. 2 Fig. 73 dargestellt ist. In der Mitte ist der freie Magnetismus ebenfalls 0; von da wächst auf der einen Seite der freie Nordmagnetismus, auf der anderen der freie Südmagnetismus bis ans Ende.

Da dies in der That die Art der Vertheilung des freien Magnetismus in normal magnetisirten Stahlstäben ist, so sind wir zu der Annahme be-

Fig. 73.

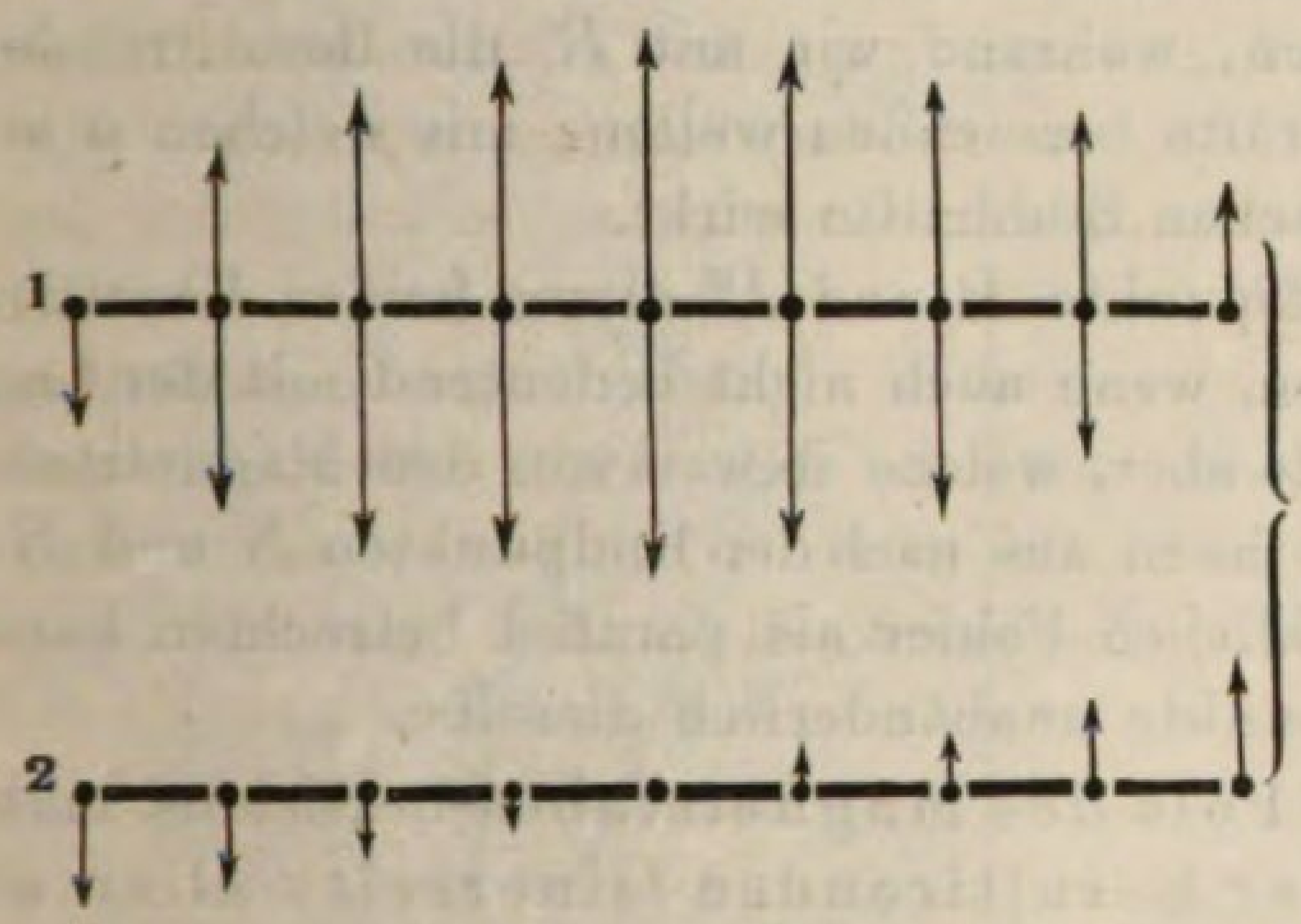


Fig. 74.



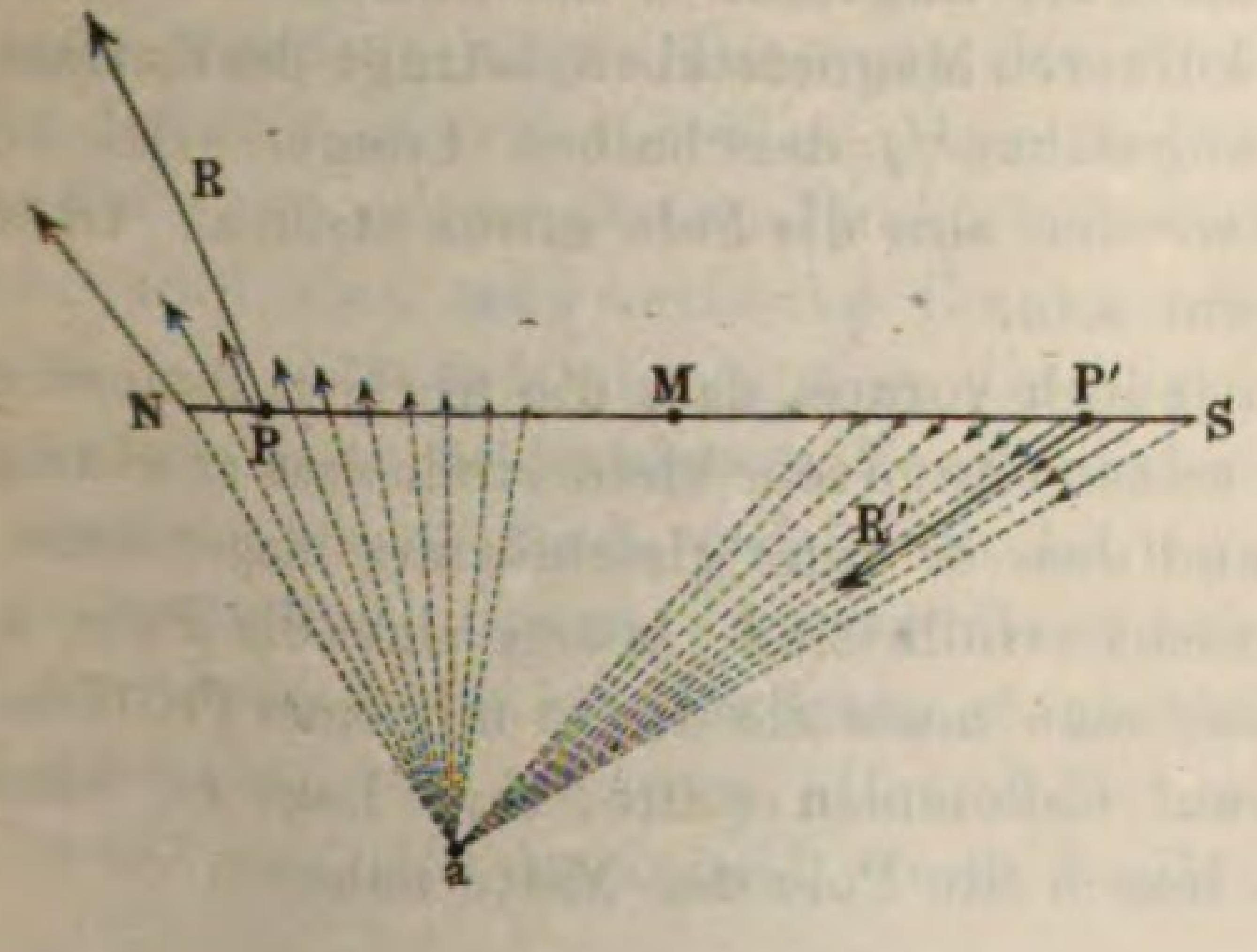
rechtigt, dass in ihnen die magnetische Polarität der Theilchen in der Mitte stärker entwickelt ist, als gegen die Enden hin.

Für die Richtigkeit dieser Ansicht spricht auch die Thatsache, dass wenn man eine Reihe von Stahlstäbchen hinter einander legt, wie es Fig. 74 angedeutet ist, und sie dann so behandelt, wie einen einzigen langen Stahlstab, den man magnetisiren will, dass alsdann nach dem Auseinandernehmen die Stäbchen einen um so stärkeren Magnetismus zeigen, je näher sie während des Streichens der Mitte lagen.

Magnetische Pole. Wir haben oben in §. 1 als magnetische Pole im Allgemeinen die Enden eines Magnets bezeichnet, an welchen die magnetische Anziehung am kräftigsten auftritt. Derselbe Ausdruck wird aber auch noch in einer anderen Bedeutung gebraucht, welche wir näher erörtern müssen. 26

Es sei NS, Fig. 75, ein geradliniger, gleichförmig magnetisirter Stahlstab und a irgend ein ausserhalb des Stabes liegendes, etwa nordmagnetisches Partikelchen, so wirkt dasselbe abstossend auf alle Moleküle der einen Hälfte MN des Magnetstabes, anziehend aber auf alle Moleküle der anderen Hälfte MS desselben, und zwar ist die anziehende oder abstossende Kraft, mit welcher a auf irgend ein Molekül des Stahlstabes wirkt,

Fig. 75.



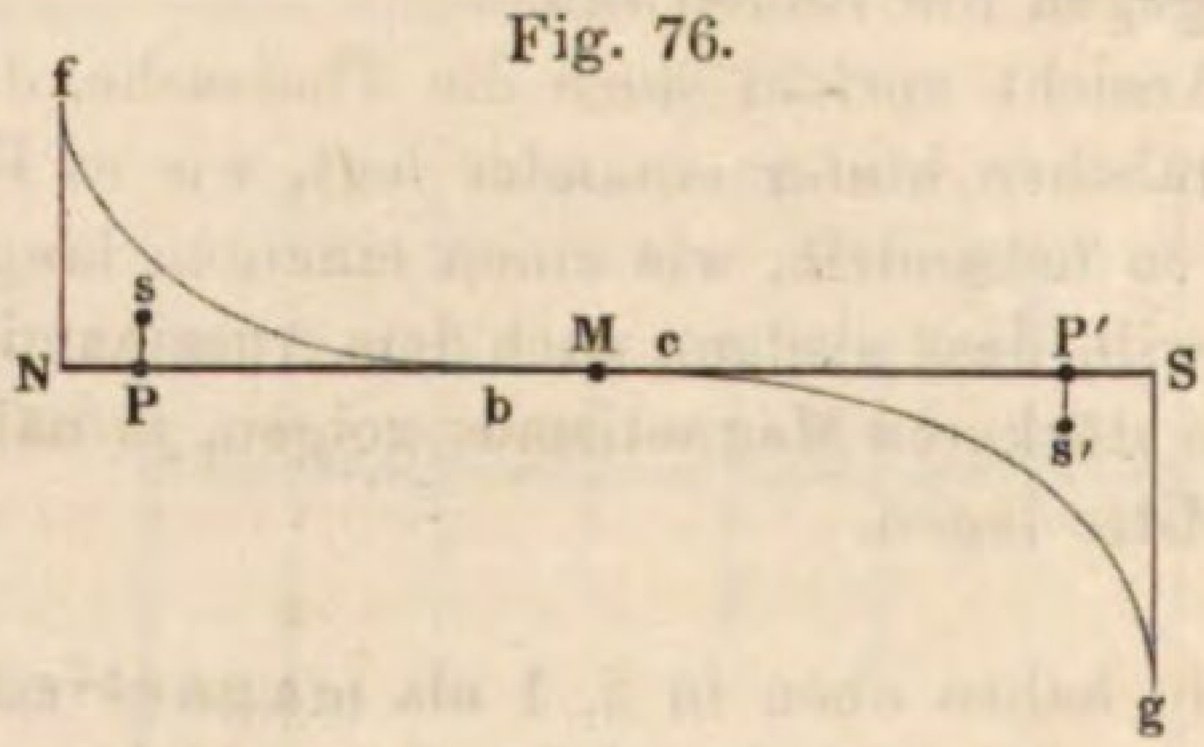
dem freien Magnetismus dieser Stelle proportional, wie dies in unserer Figur durch die Pfeilchen angedeutet sein soll.

Alle abstossenden Kräfte, mit welchen *a* auf die einzelnen Moleküle der nordmagnetischen Stabhälfte wirkt, kann man sich zu einer Resultirenden *R* vereinigt denken, während wir mit *R'* die Resultirende aller elementaren Anziehungskräfte bezeichnen wollen, mit welchen *a* auf die Moleküle der südmagnetischen Stabhälfte wirkt.

Die Lage der Angriffspunkte *P* und *P'* dieser beiden Resultirenden ändert sich im Allgemeinen, wenn auch nicht bedeutend mit der Lage des Punktes *a*; für alle Punkte aber, welche so weit von dem Magnetstab wegliegen, dass man die von ihnen aus nach den Endpunkten *N* und *S* gezogenen Geraden ohne merklichen Fehler als parallel betrachten kann, ist die Lage dieser Angriffspunkte unabänderlich dieselbe.

Mit dem Namen der Pole des Magnetstabes bezeichnet man nun die Angriffspunkte der Resultirenden einerseits aller anziehenden und andererseits aller abstossenden Kräfte, mit welchen ein sehr weit vom Magnetstab entfernt liegendes magnetisches Partikelchen auf die einzelnen Moleküle des Magnetstabes wirkt.

Fig. 76.



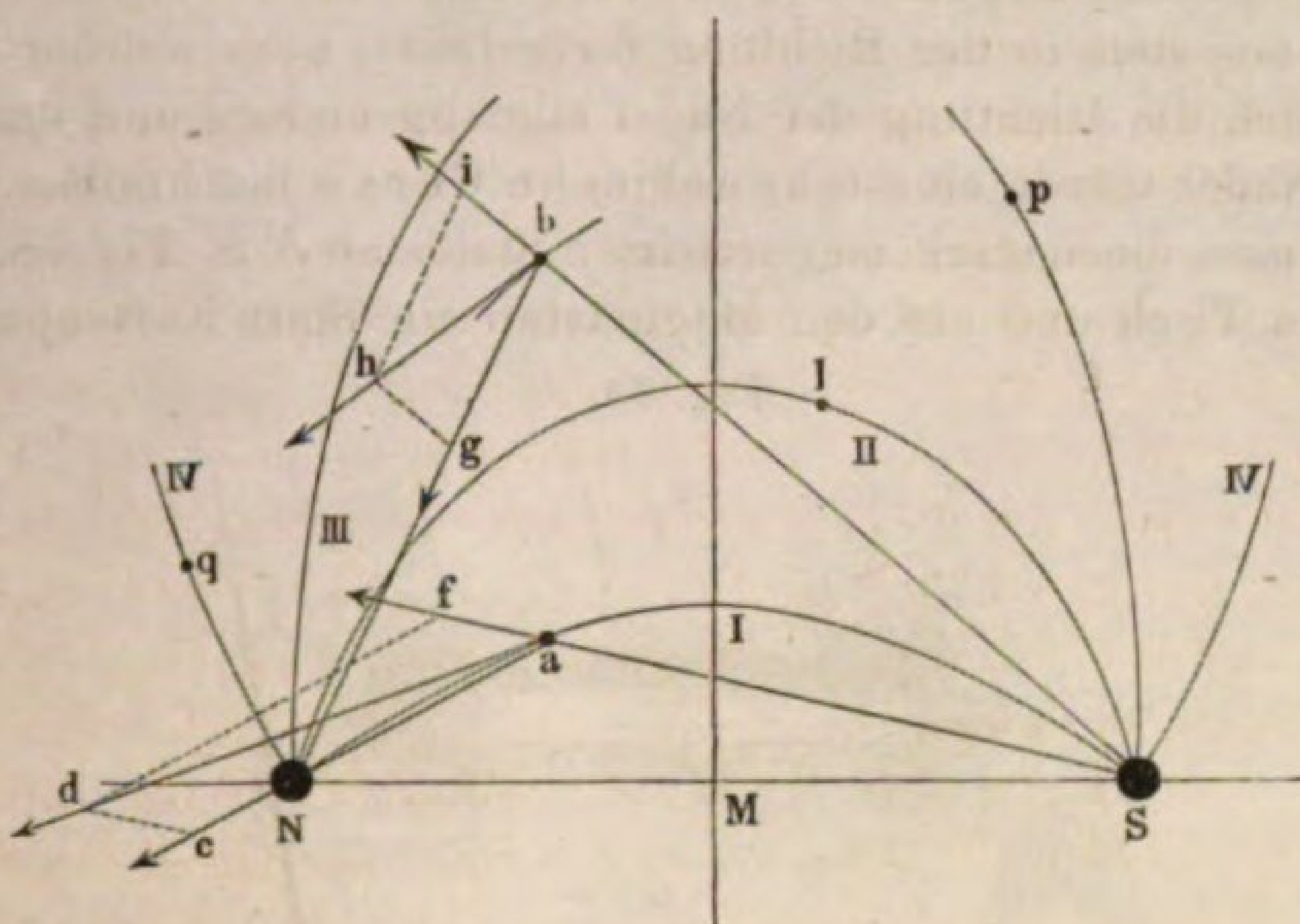
Die Lage der so definirten magnetischen Pole ergiebt sich mit Hülfe der im vorigen Paragraphen besprochenen Intensitätscurve. Um die Lage der Pole zu finden, hat man nämlich nur die Schwerpunkte *s* und *s'* der Flächenstücke *bfN* und *cSg* zu bestimmen, welche einerseits durch den Magnetstab, andererseits durch die Intensitätscurve begränzt sind, und von diesen Schwerpunkten Perpendikel auf *NS* zu fällen. Die Fusspunkte *P* und *P'* dieser Perpendikel sind die gesuchten Pole des Magnetstabes.

Für Stäbe, welche über 25 Centimeter lang sind, hat Coulomb durch Rechnung gefunden, dass die Pole ungefähr 4 Centimeter weit von den Enden entfernt liegen. Bei kürzeren Magnetstäben beträgt die Entfernung der Pole von den Enden ungefähr $^1/_3$ der halben Länge. Bei einem 9 Centimeter langen Stabe werden also die Pole etwas mehr als 18 Millimeter von den Enden entfernt sein.

Diese Resultate setzen jedoch voraus, dass die übrigen Dimensionen des Stabes im Vergleich zu seiner Länge sehr klein sind, dass er eine ganz regelmässige Gestalt habe und dass er ganz gleichförmig magnetisirt sei. Wenn diese Bedingungen nicht erfüllt sind, lassen sich die Pole nicht mehr theoretisch bestimmen, man muss sie direct mit einer Probirnadel suchen, wenn es etwa darauf ankommen sollte, ihre Lage zu kennen. Bei rautenförmigen Nadeln liegen die Pole der Mitte näher.

Magnetische Curven. In Fig. 77 sei N ein magnetischer Nordpol, S ein gleich stark magnetischer Südpol, so werden sie auf irgend ein magnetisches Partikelchen a entgegengesetzte Wirkung ausüben. Ist z. B. a ein südmagnetisches Element, so wird es von S abgestossen, von 27

Fig. 77.



N aber angezogen, die Grösse der anziehenden und abstossenden Kräfte, welche auf a wirken, steht im umgekehrten Verhältniss des Quadrats seiner Entfernung von N und S. In unserer Figur z. B. ist aN halb so gross als aS, folglich wird a von N mit einer Kraft angezogen, welche 4 mal so gross ist als diejenige Kraft, mit welcher a von S abgestossen wird. Macht man $ac = 4\,af$, so stellt die Diagonale ad des Parallelogramms $afdc$ der Grösse und Richtung nach die Resultirende der beiden magnetischen Kräfte dar, welche auf a wirken.

In gleicher Weise ist in unserer Figur die Resultirende der beiden magnetischen Kräfte construirt, welche auf ein südmagnetisches Partikelchen in b wirken.

Jede Curve nun, welche die beiden magnetischen Pole N und S verbindet und einen solchen Verlauf hat, dass die in irgend einem Punkt der Curve an dieselbe gelegte Tangente der Richtung nach zusammenfällt mit der Resultirenden der beiden magnetischen Kräfte, mit welchen die beiden Pole auf ein in diesem Punkt befindliches magnetisches Element wirken, wird eine magnetische Curve oder Magnetkraft-Linie genannt. So fällt z. B. die in a an die Curve I, Fig. 77, gelegte Tangente mit der oben besprochenen Resultirenden ad zusammen.

Auch die gerade Linie, welche die beiden Pole N und S verbindet, ist eine magnetische Curve. Ausser dieser zeigt Fig. 77 noch den vollständigen Verlauf von zwei anderen magnetischen Curven I und II und Bruchstücke von zwei weiteren, III und IV.

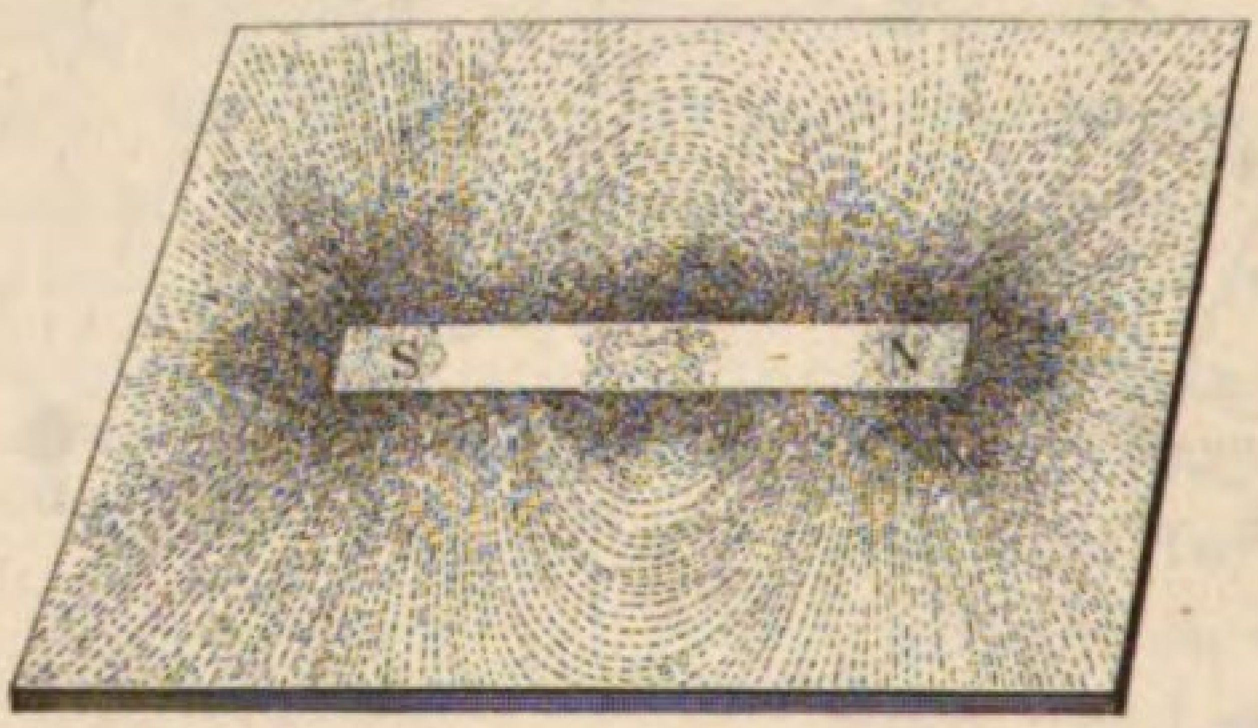
Denkt man sich in irgend einem Punkt a oder l oder p u. s. w.,

welcher in der Wirkungssphäre der magnetischen Pole N und S liegt, eine nach jeder Richtung frei um ihren Schwerpunkt drehbare Magnetnadel angebracht, deren Länge sehr klein ist im Vergleich zum Abstand NS, so wird die Richtung der kleinen Nadel mit der Richtung der durch den Schwerpunkt der Nadel gelegten magnetischen Curve zusammenfallen.

Würde der Schwerpunkt der kleinen Magnetnadel von a oder von l oder von p aus stets in der Richtung fortgeführt, nach welcher sie zeigt, so würde sich die Richtung der Nadel allmälig ändern und der Schwerpunkt der Nadel würde eine magnetische Curve beschreiben.

Wenn man einen stark magnetisirten Stahlstab NS, Fig. 78, horizontal auf einen Tisch und auf den Magnetstab ein Blatt Kartenpapier legt,

Fig. 78.



so zeichnet sich die Lage des Magnetstabes auf dem Kartenpapier nicht allein deutlich ab, wenn man Eisenfeile auf dasselbe siebt, sondern die Eisentheilchen ordnen sich auch zu zusammenhängenden Fäden, welche den Verlauf der den Magnetpolen N und S entsprechenden magnetischen Curven andeuten.

28 **Der Sättigungspunkt.** Für jeden Stahlstab giebt es eine Gränze, über welche hinaus man denselben nicht bleibend magnetisiren kann, und dieses Maximum des bleibenden Magnetismus wird der Sättigungspunkt genannt.

Durch kräftige Magnetisirungsmittel kann man zwar einen Stahlstab weit über den Sättigungspunkt hinaus magnetisiren, der Ueberschuss des Magnetismus verliert sich aber allmälig wieder, wenn die magnetisirende Kraft zu wirken aufhört und der Stab sich selbst überlassen bleibt.

Der Sättigungspunkt eines Stahlstabes ist durch seine Coërcitivkraft, also durch seinen Härtungsgrad bedingt.

Je weicher der Stahlstab, desto niedriger liegt sein Sättigungspunkt, d. h. desto schwächer ist der Magnetismus, welchen er zurückzuhalten vermag.

Häcker in Nürnberg, welchem es gelungen ist, äusserst kräftige Magnetstäbe herzustellen, hat zahlreiche Versuche über die Schwingungsdauer von Stäben angestellt, welche bis zu ihrem Sättigungspunkte magnetisirt sind, und gefunden, dass sie sich nach der empirischen Formel

$$T = c\sqrt[3]{P}\sqrt[6]{L}$$

berechnen lässt, in welcher T die Schwingungsdauer in Secunden, P das Gewicht in Lothen, und L die Länge der Magnetstäbe in Zollen, c aber einen constanten Factor bezeichnet, welcher von der Stärke des Magnetismus abhängt. Für die von ihm gemachten Magnetstäbe fand er $c = 2{,}67$. Liegt der Sättigungspunkt tiefer, so wird der Factor c grösser. Bei später gemachten Magnetstäben brachte Häcker den Factor c bis auf 2,35 herunter.

Diese Formel giebt uns einen Anhaltspunkt, um die Stärke des Magnetismus in einem Stahlstabe zu beurtheilen. Für einen 12 Zoll langen, 11 Loth schweren Magnetstab berechnet man aus obiger Formel für den Factor $c = 2{,}67$ den Werth $T = 8{,}95$ Secunden. Gesetzt nun, man habe für einen Stab der angegebenen Dimensionen die Schwingungsdauer gleich 12 Secunden gefunden, so folgt daraus, dass sein Magnetismus noch ziemlich weit von dem von Häcker erreichten Sättigungspunkte entfernt ist.

Man sieht aus obiger Formel, dass die Schwingungsdauer von Magnetstäben, welche bis zum Sättigungspunkte magnetisirt sind, bei gleichen Längen noch von der Masse, also vom Durchmesser abhängt. Je dicker sie sind, desto langsamer schwingen sie. — Wäre in einem dicken Stabe in jedem Punkte der Magnetismus eben so stark entwickelt, als in einem dünnen, so müsste die Schwingungsdauer von den Dimensionen des Querschnittes des Stabes unabhängig sein. Da nun aber die dicken Stäbe langsamer schwingen, so folgt, dass in einem dünnen Stahlstabe eine verhältnissmässig weit stärkere Entwickelung des freien Magnetismus möglich ist als in einem dickeren.

Damit steht nun auch folgende Erscheinung in Zusammenhang. Ein Magnetstab sn, Fig. 57, S. 55, bringt eine bestimmte Ablenkung der Bussolennadel hervor. Wird nun noch ein zweiter, dem ersteren ganz gleicher und gleich stark magnetischer Stahlstab ans andere Ende des Maassstabes gelegt, so wird die Ablenkung nahezu verdoppelt (die Tangente des Ablenkungswinkels ist jetzt doppelt so gross als vorher). Die Wirkung der beiden Magnetstäbe ist hier die zweifache von der eines einzigen.

Legt man aber den zweiten Magnetstab auf den ersten, so dass die gleichnamigen Pole aufeinander fallen, dass man also gewissermaassen einen Magnetstab von doppeltem Querschnitt hat, so ist nun die Wirkung der beiden Stäbe zusammen bei weitem nicht doppelt so gross als die eines einzigen.

Der Grund davon ist sehr leicht zu übersehen. Jeder Stab hat, wenn beide mit gleichnamigen Polen auf einander gelegt werden, ein Bestreben, die Polarität des anderen umzukehren. Eine solche Umkehrung findet nun freilich nicht statt, jeder der beiden Stäbe schwächt aber wenigstens den Magnetismus des anderen.

Wie sich aber hier die beiden Magnetstäbchen gegen einander verhalten, so verhalten sich in einem Magnetstabe zwei neben einander lie-

gende Längsstreifen, es ist also klar, dass man einen Stahlstab von grösserem Querschnitte nicht bis zu derselben Gränze magnetisiren kann, wie einen dünneren.

29 **Einfluss der Wärme auf den Magnetismus.** Wir haben schon gesehen, dass ein natürlicher Magnet sowohl wie ein künstlicher seinen Magnetismus vollständig verliert, wenn man ihn bis zum Weissglühen erhitzt; d. h. nach dem Erkalten zeigt er keine magnetische Polarität mehr. Diese Beobachtung ist schon von Gilbert gemacht worden. Dadurch verlieren aber die Körper die Eigenschaft nicht, wieder magnetisch zu werden, wenn man sie durch die bekannten Verfahrungsarten wieder magnetisirt. Ihre Coërcitivkraft ist jedoch geändert; die der natürlichen Magnete nimmt ab, ohne dass man im Stande ist, sie in ihrer ursprünglichen Stärke wieder herzustellen, die der künstlichen Magnete ist sehr geschwächt, lässt sich aber durch neues Härten vollkommen wieder herstellen.

Der Verlust des Magnetismus findet nicht auf einmal, sondern nach und nach statt in dem Maasse als die Temperatur steigt. Um sich davon zu überzeugen, nehme man einen Magnetstab, dessen Stärke man durch die Oscillationsdauer bestimmt; man erhitze ihn nach einander bis zu verschiedenen Wärmegraden und lasse ihn jedesmal wieder erkalten. Hat man ihn z. B. bis 100^0 erwärmt, so wird er nach dem Erkalten langsamer oscilliren als vorher. Erwärmt man ihn dann bis auf 200^0, so wird man finden, dass sein Magnetismus wieder abgenommen hat u. s. w.

Die magnetische Kraft eines bei niedriger Temperatur magnetisirten Magnets nimmt bei Erhöhung der Temperatur fortwährend ab. So war z. B. die Magnetkraft eines bei 20^0 magnetisirten Stabes bei einer Temperatur von 95^0 nur noch 0,633 von derjenigen, welche er bei 20^0 zeigte. Bei der Abkühlung des Stabes kam aber ein Theil des verlorenen Magnetismus wieder zum Vorschein, so dass nach dem Erkalten auf 20^0 seine Magnetkraft wieder auf 0,702 der ursprünglichen gestiegen war.

Kupffer hat bemerkt, dass man einen Magnet längere Zeit einer bestimmten Temperatur aussetzen muss, wenn er allen Magnetismus verlieren soll, den er bei dieser Temperatur überhaupt verlieren kann. Eine Magnetnadel z. B., welche mehrmals nach einander 10 Minuten lang in kochendes Wasser gesteckt wurde, verlor erst nach sechs Eintauchungen ihren Magnetismus, soweit es für diese Temperatur möglich war. Um 200 Schwingungen zu machen, brauchte sie vor dem ersten Eintauchen 578 Secunden, nach dem ersten Eintauchen 637″, nach dem zweiten 642″, nach dem dritten 645″, nach dem vierten 647″, nach dem fünften 650″, nach dem sechsten 652″ und nach dem siebenten Eintauchen endlich wieder 652 Secunden.

Dufour hat die interessante Beobachtung gemacht, dass ein bei höherer Temperatur (nicht bis zum Sättigungspunkt) magnetisirter Stahlstab sowohl bei gesteigerter Erwärmung als auch bei Erkaltung an Mag-

netkraft abnehme. An einem bei 60° magnetisirten Stahlstabe beobachtete er folgende zusammengehörige Temperaturen und magnetische Intensitäten:

Temperatur	60°	42°	23°	3°
Intensität	1,71	1,63	1,53	1,35

Die Magnetkraft eines bei 2° magnetisirten Stahlstabes nahm, als derselbe durch eine Kältemischung bis — 25° erkaltet wurde, im Verhältniss von 5,1 zu 4,9 ab.

Ein Magnet, bis zu heller Rothglühhitze erwärmt, verliert seinen Magnetismus so vollständig, dass er sich gegen Eisen, gegen einen anderen Magneten ganz indifferent verhält. Ebenso wird auch weiss glühendes Eisen von einem Magnet nicht mehr angezogen. Bei dem Eisen giebt es also eine Temperaturgränze, über welche hinaus es für den Einfluss des Magnetismus unempfänglich ist.

Die Betrachtung dieser magnetischen Gränze führt uns auf den Gedanken, dass es auch für andere Körper eine solche magnetische Gränze geben könne, und in der That hat der Versuch diese Erwartung bestätigt, es hat sich ergeben:

1. dass für Kobalt diese Gränztemperatur noch weit über der Weissglühhitze liegen müsse, denn in den höchsten Temperaturen, welchen man das Kobalt aussetzte, fand man es noch magnetisch;

2. dass die magnetische Gränze des Chroms etwas unter der Temperatur des Dunkelrothglühens liege;

3. dass die magnetische Gränze des Nickels ungefähr bei 350°, d. h. in der Nähe des Schmelzpunktes des Zinks liegt;

4. dass die magnetische Gränze des Braunsteins 20° bis 25° über Null liegt.

Einfluss des Lichtes auf den Magnetismus. Morichini 30
war der Erste, welcher behauptete, dass die violetten Strahlen und diejenigen, welche dem violetten Ende des Spectrums nahe liegen, im Stande seien, Stahlnadeln magnetisch zu machen. Viele, welche den Versuch machten, fanden Morichini's Behauptung nicht bestätigt. Wenn der Versuch gelingen soll, so darf man nach Lady Sommerville nicht die ganze Nadel der Wirkung der violetten Strahlen des prismatischen Bildes aussetzen, sondern nur diejenige Hälfte, welche zum Nordpol werden soll, zu welchem Zwecke man die andere Hälfte mit Papier verdeckt. Bei dieser Vorsicht sollen die Nadeln in einigen Stunden magnetisch werden.

Die blauen und grünen Strahlen des Spectrums sollen dieselbe Wirkung hervorbringen, wie die violetten, nur in geringerem Grade; die gelben, orangefarbigen und rothen aber sollen wirkungslos sein, selbst bei dreitägiger Fortsetzung der Versuche.

Auch Nadeln, welche halbbedeckt unter ein blau oder grün gefärbtes Glas gelegt und dann der Einwirkung des Sonnenlichtes ausgesetzt wur-

den, sollen magnetische Eigenschaften erhalten. Dieselbe Wirkung soll man erhalten, wenn man eine Nadel zur Hälfte mit einem grünen oder blauen Bande umwickelt dem Tageslichte aussetzt.

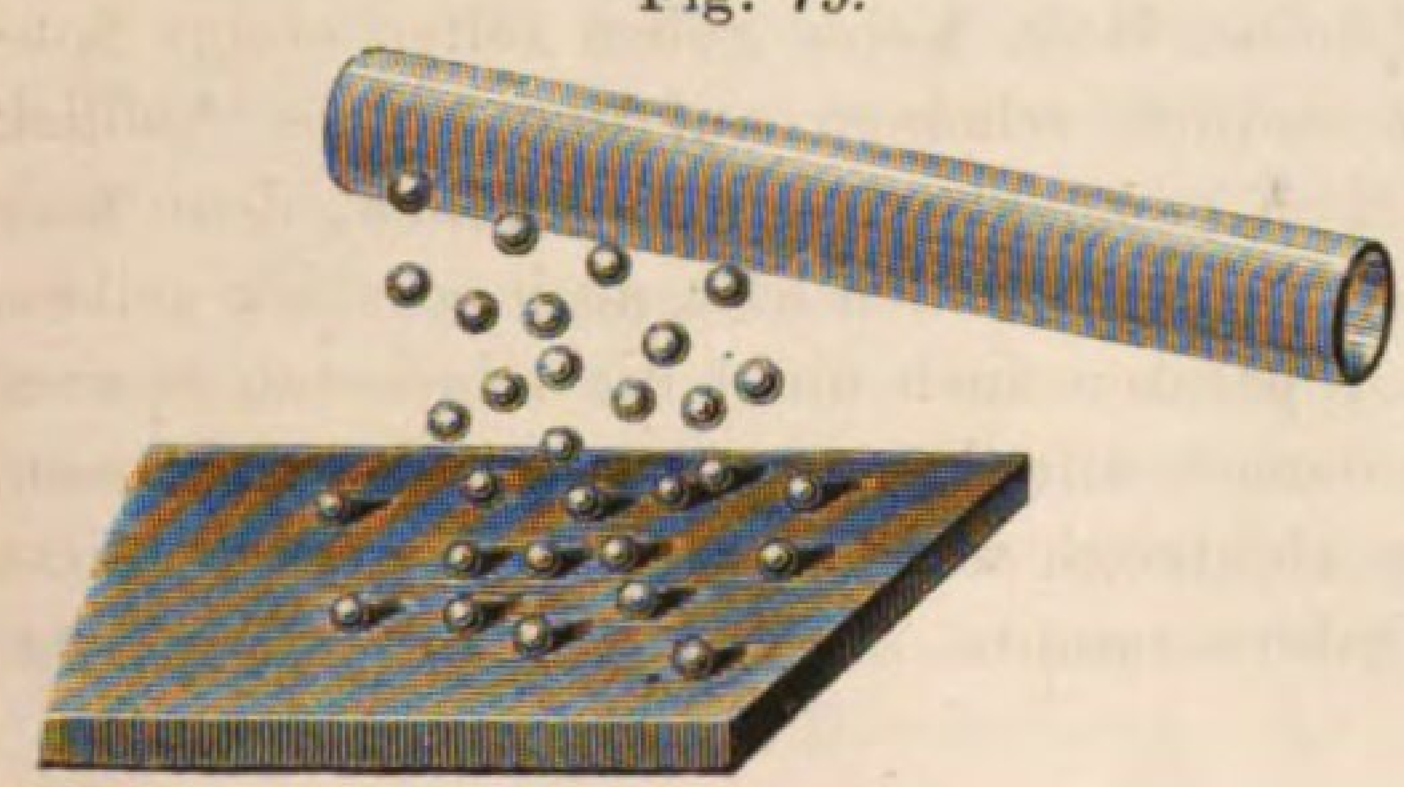
Mit grösster Genauigkeit und Umsicht angestellte Versuchsreihen von Riess und Moser stellen eine derartige magnetische Wirkung des Lichtes auf das Entschiedenste in Abrede (Pogg. Annal. Bd. XVI, S. 563).

Zweites Capitel.

Die Phänomene der elektrischen Spannung.

Entwickelung der Elektricität durch Reibung. Im 31
gewöhnlichen Zustande zeigen die festen Körper durchaus nicht die Eigenschaft, leichte Partikelchen, wie Goldflitter, Sägespäne, Papierschnitzel, Kügelchen von Hollundermark u. s. w., anzuziehen. Wenn man aber mit Wollen- oder Seidenzeug einen Glasstab, eine Stange Schwefel oder Siegellack, ein Stück Bernstein u. s. w. reibt, so erlangen diese Körper sogleich jene merkwürdige Eigenschaft. Die anziehende Kraft ist oft so gross, dass schon in einer Entfernung von mehreren Zollen Kügelchen von Hollundermark aufgezogen werden (Fig. 79). Die Ursache dieses Phänomens nennt man Elektricität, nach dem griechischen Worte ἤλεκτρον, welches Bernstein bedeutet, an welchem die griechischen Philosophen zuerst diese merkwürdige Eigenschaft beobachtet hatten.

Fig. 79.



Um mit Sicherheit entscheiden zu können, ob ein Körper durch Reiben elektrisch wird oder nicht, wendet man Apparate an, welche Elektroskope genannt werden.

Das einfachste Elektroskop ist das elektrische Pendel (Fig. 80 a. f. S). Es besteht aus einer kleinen Kugel von Hollundermark, welche an einem feinen leinenen Faden aufgehängt ist. Wenn man einen Körper prüfen will, so nähert man ihn dem Kügelchen; wird es angezogen, so ist der Körper elektrisch, wird es aber nicht angezogen, so ist er entweder

nicht elektrisch, oder seine Elektricität ist doch zu schwach, um hier eine Wirkung hervorzubringen.

Fig. 80.

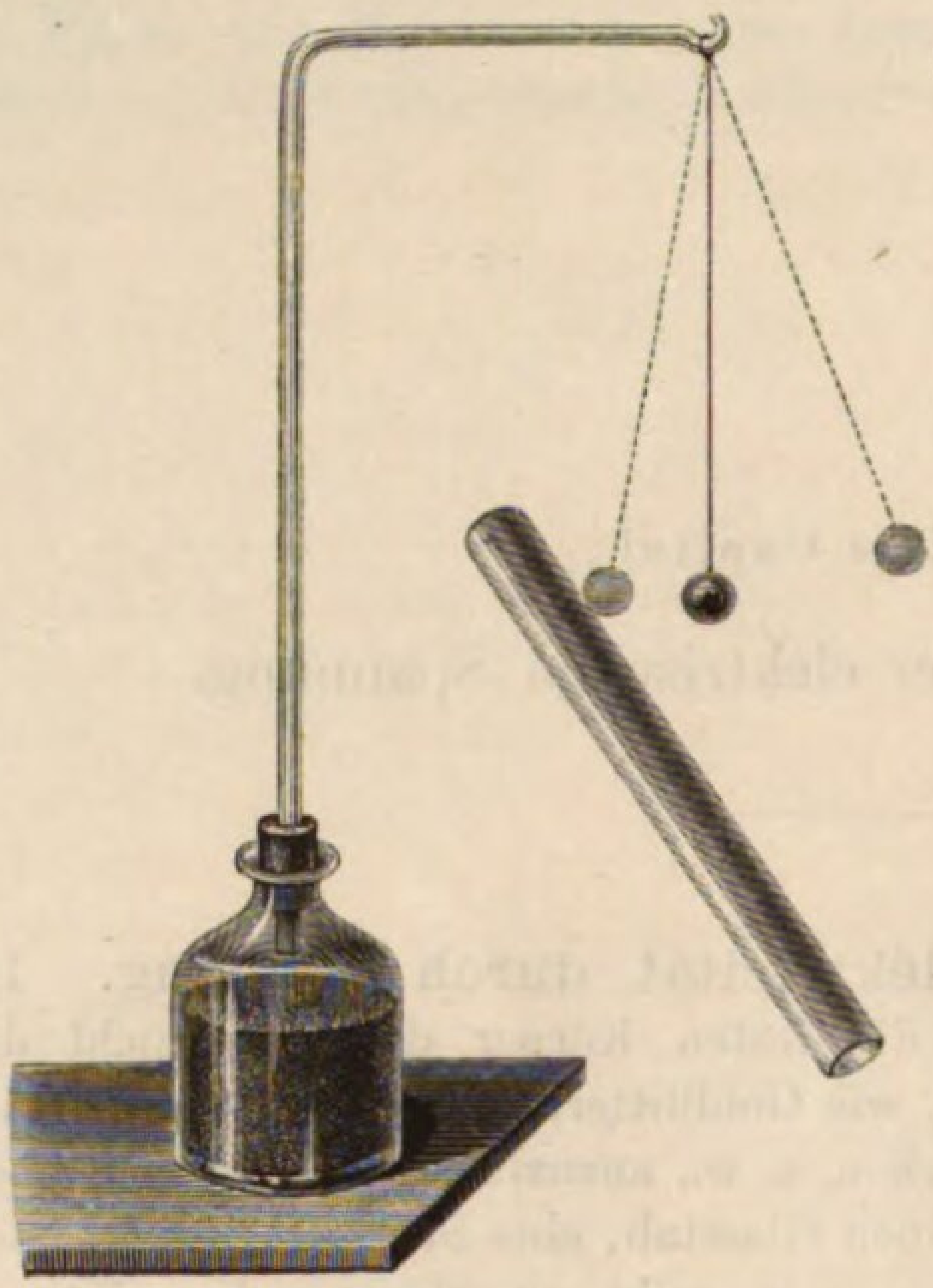
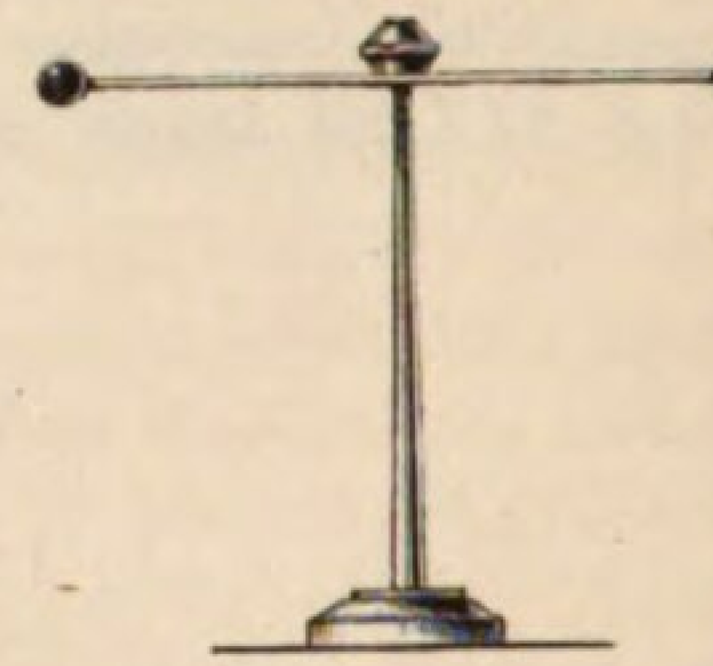


Fig. 81.



Die elektrische Nadel (Fig. 81) ist eben so empfindlich als das elektrische Pendel. Sie besteht aus einem Messingdrahte, welcher in zwei metallischen Kugeln endigt. In der Mitte des Drahtes befindet sich ein Stahl- oder Achathütchen, welches auf einer feinen Spitze ruht. Eine geringe elektrische Kraft reicht schon hin, die Nadel in Bewegung zu setzen.

Mit Hülfe dieser Apparate kann man untersuchen, in wiefern die verschiedenen Körper durch Reiben elektrisch werden oder nicht. Man findet, dass alle Harze, Bernstein, Schwefel, Glas u. s. w. durch Reiben stark elektrisch werden; Edelsteine, Holz, Kohle geben selten einige Spuren von Anziehung; Metalle endlich scheinen auf den ersten Anblick durch Reiben gar nicht elektrisch gemacht werden zu können, denn man mag einen Metallstab, den man in den Händen hält, noch so stark reiben, man erhält an allen diesen Apparaten auch nicht die mindesten Spuren von Anziehung. Man theilte danach alle Körper in zwei grosse Classen, in solche, welche durch Reiben elektrisch werden, und solche, welche diese Eigenschaft nicht haben. Erstere nannte man idioelektrische, letztere anelektrische Körper.

32 **Leiter und Nichtleiter.** Man war früher der Meinung, dass die Körper, welche man mit dem Namen der anelektrischen bezeichnet hatte, auf keinerlei Weise in den elektrischen Zustand versetzt werden könnten.

Ein englischer Physiker, Gray, machte im Jahre 1727 die Entdeckung, dass ein mittelst eines Korkstopfens in das offene Ende einer Glasröhre eingesteckter, aus derselben hervorragender Metalldraht und eine an denselben angehängte Metallkette ihrer ganzen Ausdehnung nach elek-

trisch wurden und die Eigenschaft erhielten, leichte Körperchen anzuziehen, sobald man die Glasröhre durch Reiben elektrisch machte. Dadurch war bewiesen, dass die Metalle nicht nur den elektrischen Zustand anzunehmen, sondern dass sie ihn auch fortzuleiten im Stande sind.

Dieselbe Eigenschaft haben aber alle anelektrischen Körper, man nannte sie deshalb Leiter der Elektricität. Die idioelektrischen Körper dagegen sind keine Leiter; denn wenn man z. B. einen Glasstab durch Reiben an einem Ende elektrisch macht, so zeigt das andere Ende keine Spur von Anziehung.

Man kann diese Fundamentalwahrheit sehr gut mit Hülfe der Elektrisirmaschine nachweisen, welche wir, ohne noch ihre Einrichtung zu kennen, doch vor der Hand schon als Mittel anwenden können, um Elektricität zu entwickeln. Der Conductor der Maschine ist ein metallischer Körper, welcher elektrisch gemacht wird. Wenn man mit dem in den elektrischen Zustand versetzten Conductor einen langen an Seidenschnüren aufgehängten, oder bequemer einen auf einem Glasfusse stehenden Metallcylinder in Verbindung bringt, so wird der Metallcylinder seiner ganzen Ausdehnung nach elektrisch; sobald man ihn aber durch irgend einen guten Leiter mit dem Boden in Verbindung setzt, verschwindet alle Elektricität augenblicklich.

Es geht daraus auch hervor, dass die Seidenfäden, der Glasstab Nichtleiter der Elektricität, dass sie Isolatoren sind. Ein Leiter der Elektricität kann also nur so lange elektrisch bleiben, als er isolirt, d. h. von lauter Nichtleitern umgeben ist. Auch die Luft ist ein Isolator, denn sonst würde die Elektricität von dem Metalle augenblicklich durch die Luft abgeführt werden.

Wasser und Wasserdampf sind gute Leiter, deshalb verliert sich die Elektricität, welche auf einem isolirten Leiter bei trockener Luft lange haftet, sehr schnell, wenn die Luft feucht ist.

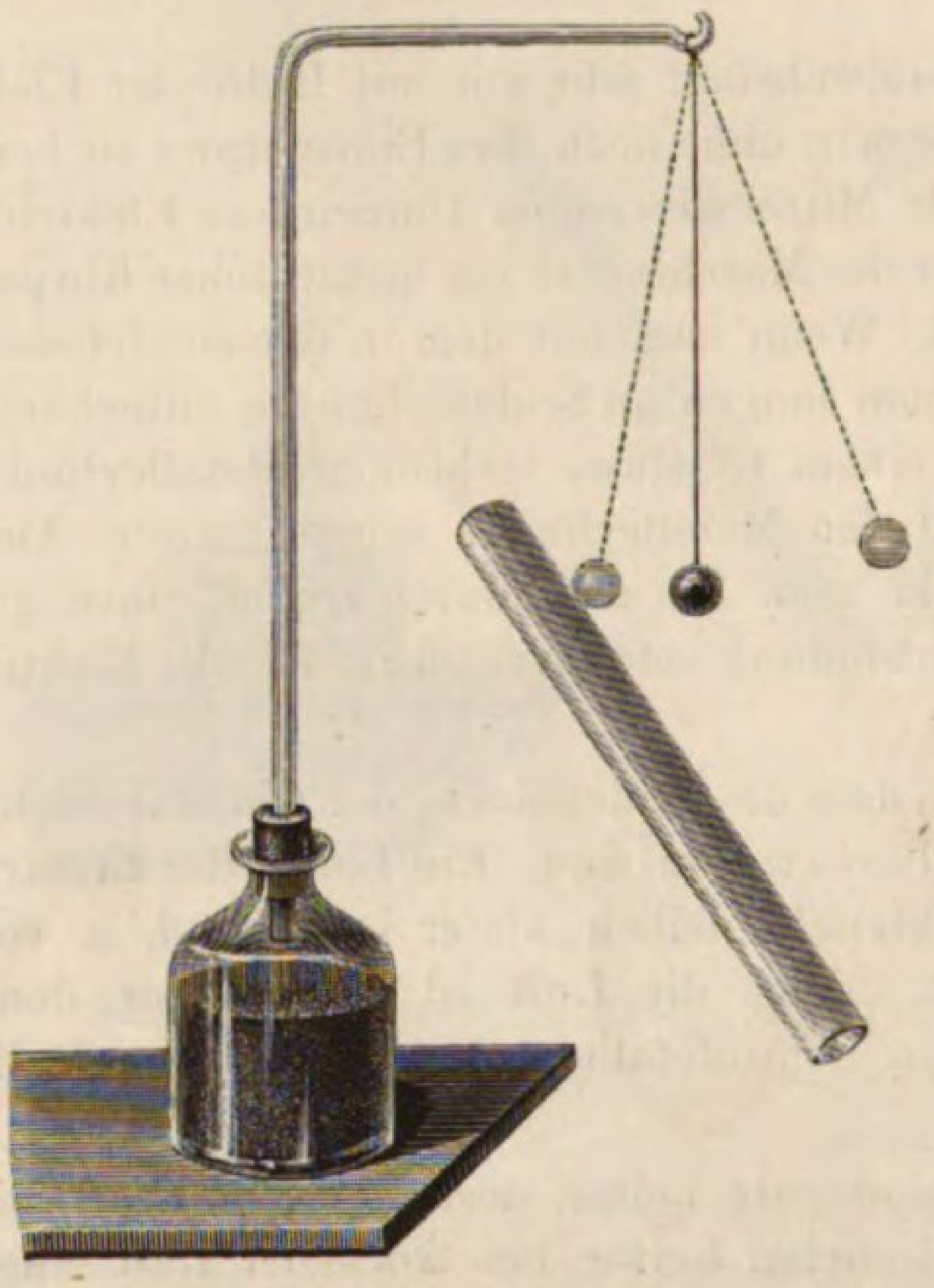
Auch der menschliche Körper ist ein guter Leiter. Wenn man, auf dem Boden stehend, den Conductor der Elektrisirmaschine anfasst, so wird alle Elektricität, welche durch das Drehen derselben erzeugt wird, sogleich abgeführt; wenn man aber auf einem schlechten Leiter, etwa auf einem Harzkuchen, steht, so wird der ganze Körper elektrisch. Man sieht jetzt auch ein, warum eine Metallstange, die man in der Hand hält, durch Reiben nicht elektrisch wird; alle Elektricität nämlich, welche man durch das Reiben erzeugt, wird sogleich durch den menschlichen Körper wieder abgeführt.

Die besten Isolatoren werden Leiter, wenn sich Wasserdampf auf ihnen niederschlägt. Es ist deshalb für den Erfolg elektrischer Versuche von der grössten Wichtigkeit, Glasfüsse, Harzstangen u. s. w., welche einen Leiter isoliren sollen, durch Erwärmen und Reiben gehörig trocken zu machen.

Statt die Körper in Leiter und Nichtleiter einzutheilen, müsste man sie, um genauer zu reden, gute oder schlechte Leiter nennen, denn absolute Nichtleiter giebt es nicht. Schellack, überhaupt Harze, Seide und Glas sind die schlechtesten Leiter, die es giebt; die Metalle hingegen sind die besten Leiter.

33 **Von den beiden Arten der Elektricität.** Nehmen wir ein einfaches elektrisches Pendel (Fig. 82) zur Hand, dessen Kügelchen an einem Seidenfaden aufgehängt ist. Wenn man eine geriebene Glas- oder Schellackstange nähert, so wird das Hollundermarkkügelchen angezogen, es berührt die Stange, bleibt aber nur einige Augenblicke daran haften, um alsbald abgestossen zu werden. Diese Repulsion rührt von der Elektricität her, welche dem Kügelchen durch die Berührung mit der Stange mitgetheilt worden ist, denn wenn man es mit der Hand berührt und es dadurch wieder in seinen natürlichen Zustand zurückführt, wird es von Neuem angezogen und nach der Berührung abermals abgestossen. Dass das abgestossene Kügelchen wirklich elektrisch ist, geht auch daraus hervor, dass es selbst von Körpern, die sich im natürlichen Zustande befinden (man muss jedoch zu diesem Versuche Leiter wählen), angezogen wird.

Fig. 82.



Wenn man zwei isolirte Pendel nimmt, von denen das eine durch Berührung einer mit vulcanisirtem Kautschuk geriebenen Glasstange, das andere durch eine mit Tuch geriebene Schellackstange elektrisch gemacht worden ist, so beobachtet man, dass das von dem Glasstabe abgestossene Kügelchen von der Schellackstange, das vom Schellack abgestossene aber vom Glase angezogen wird.

Die Elektricität des geriebenen Glases ist also nicht identisch mit der des Harzes, weil jede dasjenige Pendel anzieht, welches die andere abstösst.

Die beiden Elektricitäten hat man mit dem Namen der Glaselektricität und der Harzelektricität bezeichnet. Die Glaselektricität wird auch die positive, die Harzelektricität die negative genannt. Die Ent-

deckung der beiden verschiedenen Elektricitäten wurde von Dufay im Jahre 1773 gemacht.

Dass sich gleichnamig elektrisirte Körper abstossen, ungleichnamig elektrisirte aber anziehen, lässt sich auf folgende von Frick angegebene Weise darthun:

Ein ganz dünner Metalldraht oder auch ein ungedrehter Seidenfaden von 2 bis 3 Fuss Länge trägt unten eine ungefähr 1 Zoll lange hölzerne Hülse, Fig. 83, in welche man einen Glas- oder Harzstab *bd* einschieben kann. Ein solcher Stab, in der Hülse liegend, kann sich natürlich nur

Fig. 83.

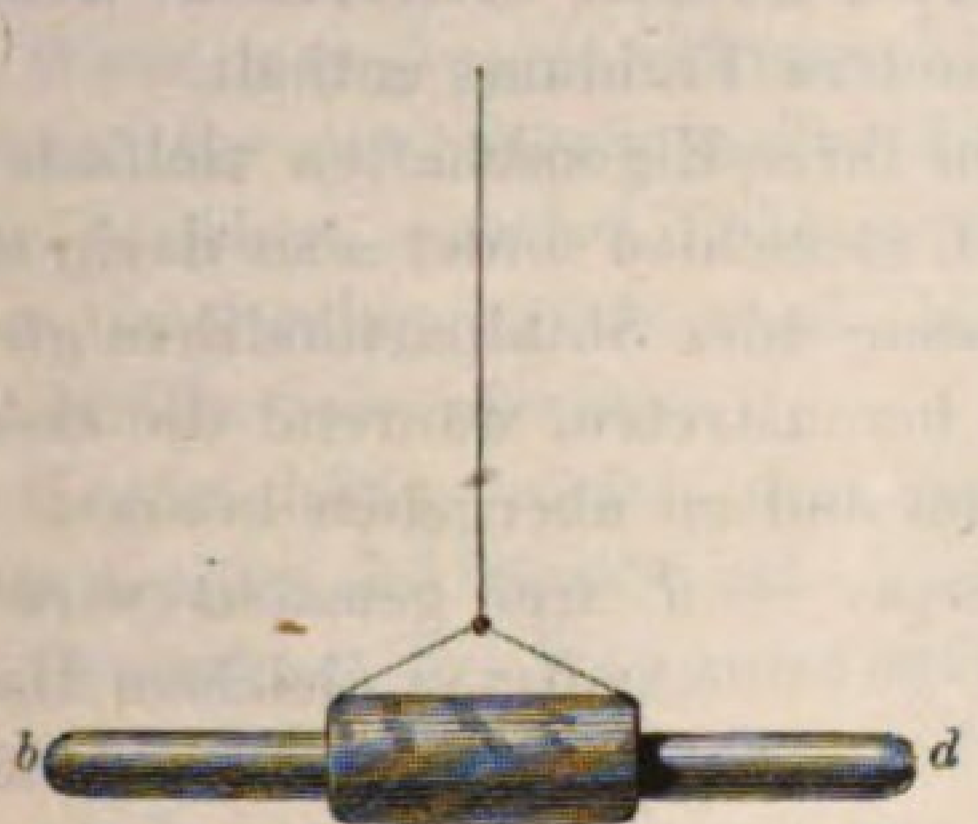
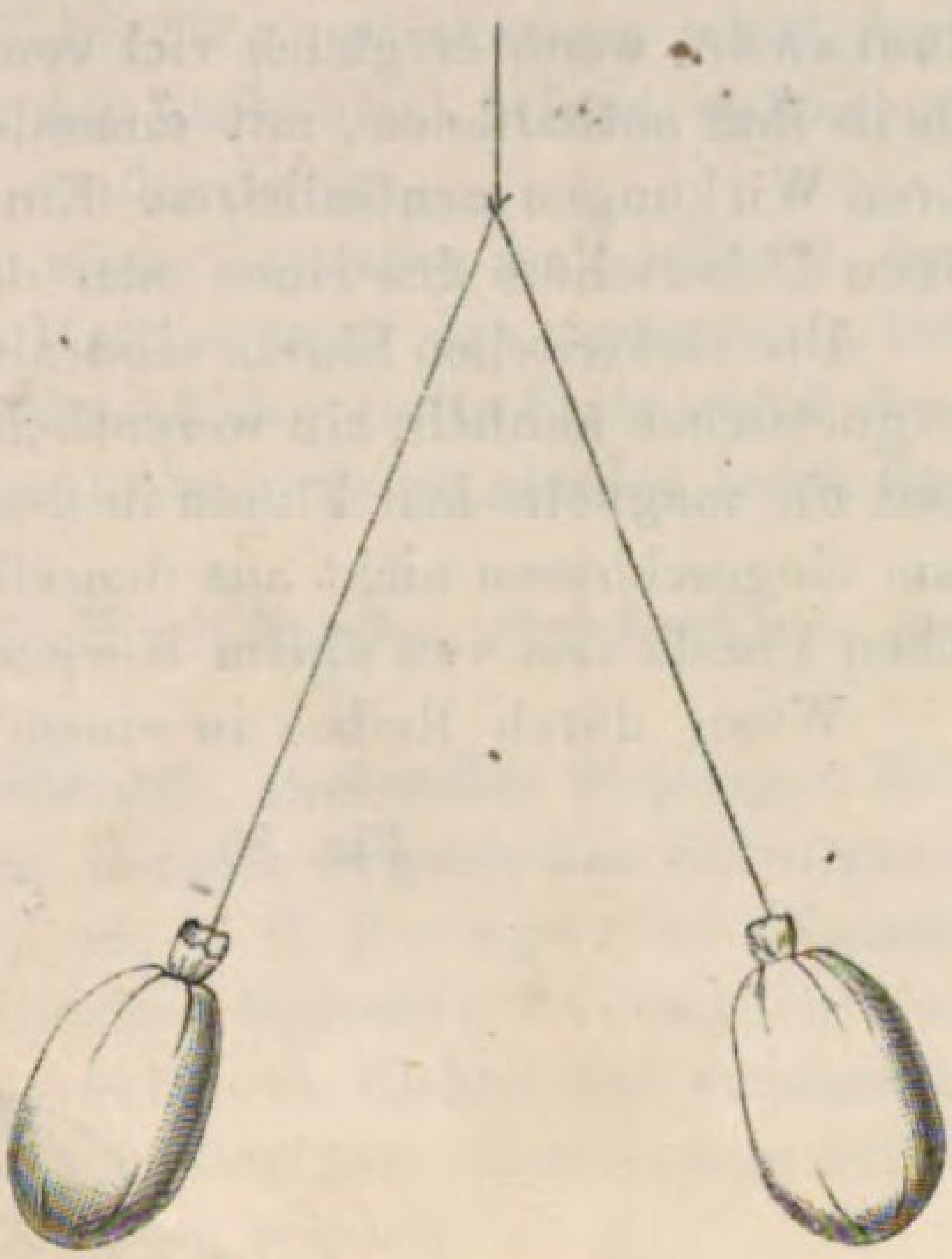


Fig. 84.



in horizontaler Ebene um die verticale Axe des Fadens drehen. — Wird nun ein durch Reiben positiv elektrisch gemachter Glasstab in die Hülse eingelegt, so wird derselbe von einem zweiten ihm genäherten, auf dieselbe Weise geriebenen Glasstab abgestossen, während eine geriebene Harzstange den in der Hülse liegenden in horizontaler Ebene leicht drehbaren Glasstab anzieht. — Liegt ein negativ elektrischer Harzstab in der Hülse, so wird er von einem geriebenen Harzstab abgestossen, von einem Glasstab aber angezogen.

Sehr schön lässt sich die Abstossung gleichartig elektrischer Körper mit zwei Collodiumballons zeigen, welche möglichst leicht sind und 2 bis $2^1/_2$ Zoll im Durchmesser haben. Man hängt sie an dünnen Seidenfäden nebeneinander auf und streicht jeden ein- oder zweimal durch die trockene Hand; sie werden dadurch schon so stark elektrisch, dass sie sich kräftig abstossen und divergiren, wie Fig. 84 zeigt. Es ist nur schade, dass nicht alle Collodiumballons zu diesem Versuche geeignet und dass sie sehr vergänglich sind.

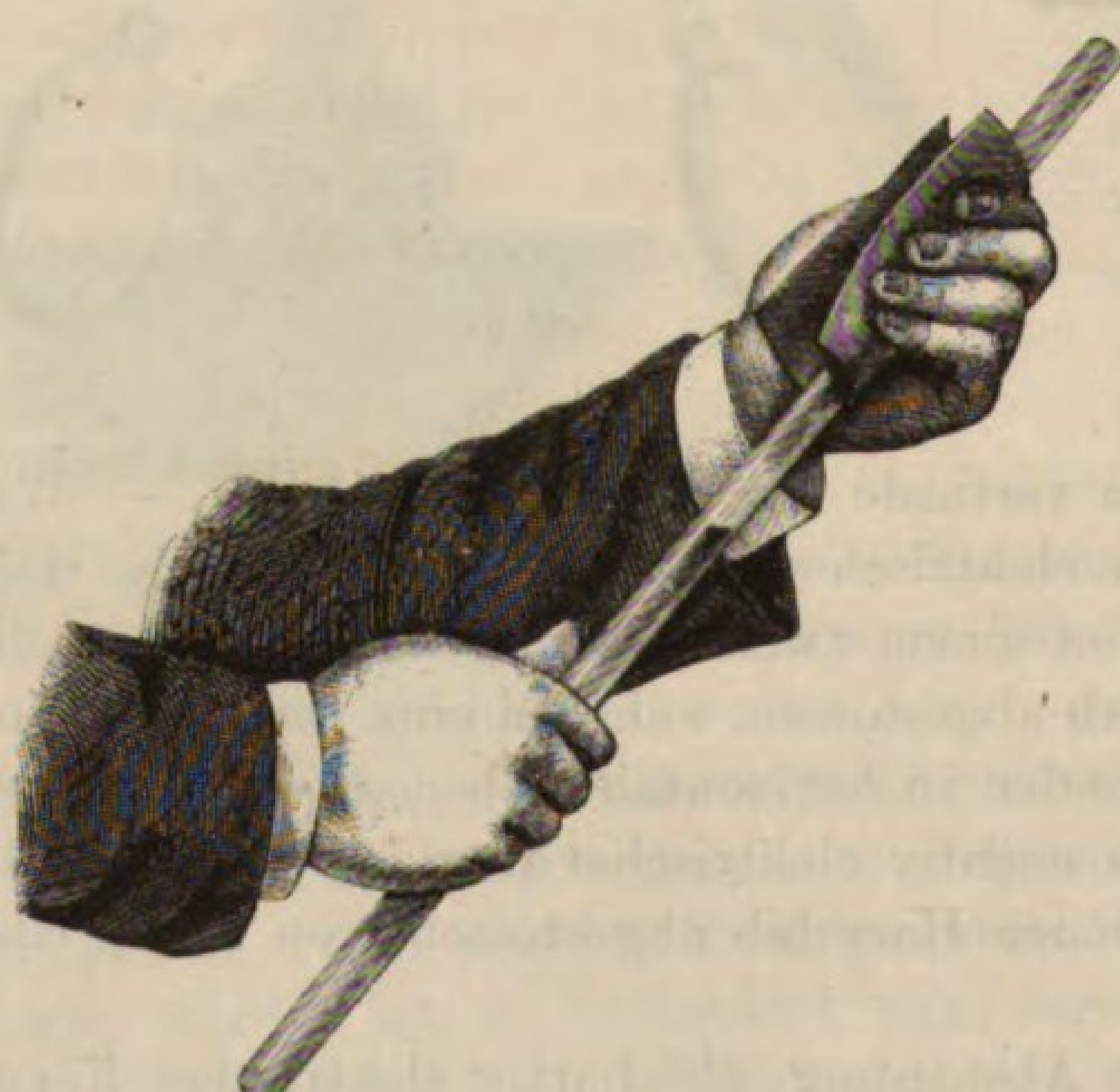
34 **Elektrische Fluida.** Zur Erklärung der elektrischen Erscheinungen hat man die Hypothese aufgestellt, dass es zwei besondere imponderable Fluida gebe, welche die Eigenschaft haben, dass die Theilchen desselben Fluidums sich gegenseitig abstossen, während die Theilchen des einen Fluidums anziehend auf die des anderen wirken. Obgleich nun diese Hypothese bei dem gegenwärtigen Zustande der Wissenschaft ziemlich unwahrscheinlich geworden ist, so behält man sie doch vor der Hand in Ermangelung einer besseren beim Vortrage der Elektricitätslehre noch bei, weil sich ohne eine solche eine klare Uebersicht der elektrischen Erscheinungen nicht wohl geben lässt.

Nach dieser Theorie befindet sich ein Körper im unelektrischen Zustande, wenn er gleich viel von jedem Fluidum enthält, so dass sich die in ihm enthaltenen, mit einander verbundenen Fluida gegenseitig in ihren Wirkungen neutralisiren. Ein Körper ist aber elektrisch, wenn er einen Ueberschuss des einen oder des andern Fluidums enthält.

Die elektrischen Fluida sind also in ihren Eigenschaften vielfach den magnetischen ähnlich; ein wesentlicher Unterschied findet aber darin statt, dass die magnetischen Fluida in den Eisen- oder Stahlpartikelchen gleichsam eingeschlossen nicht aus denselben heraustreten, während die elektrischen Fluida frei von einem Körper zum andern übergehen können.

Wenn durch Reiben in einem Körper $+E$ frei gemacht wird, so muss in gleichem Maasse auch $-E$ entwickelt werden. Wenn also von den beiden an einander reibenden Körpern der eine positiv elektrisch wird, so muss der andere eine Ladung negativer Elektricität zeigen. Man kann dies dadurch zeigen, dass man einen Glasstab mit einer Platte von etwas dickem vulcanisirten Kautschuk reibt, wie dies in Fig. 85 angedeutet wird; nähert man die geriebene Seite der Kautschukplatte der Kugel des elektrischen Pendels, Fig. 82, nachdem man dieselbe mit $-E$ geladen hat, so wird die Kugel abgestossen; die Kautschukplatte ist also gleichfalls negativ elektrisch, während der durch Reiben positiv gewordene Glasstab die negativ elektrische Kugel anzieht.

Fig. 85.



Da ein Körper in seinem natürlichen Zustande die beiden E in gleichem Maasse enthält, so giebt es keinen Grund, anzunehmen, dass er besonders

geeignet sei, vorzugsweise die eine aufzunehmen und zurückzuhalten, er kann also auch durch Reiben bald +, bald — elektrisch werden, je nachdem man ein anderes Reibzeug wählt. So kommt es z. B. häufig vor, dass Glasstäbe mit Wolle gerieben negativ werden, während sie beim Reiben mit Kienmayer'schem Amalgam (1 Gewichtstheil Zinn, 1 Zink, 2 Quecksilber; dieses Gemisch wird frisch gepulvert auf ein schwach mit Fett bestrichenes Leder aufgetragen) stets positive Elektricität annehmen.

Es hängt dies offenbar von dem Oberflächenzustande des Glases ab. Heintz hat gefunden, dass ein Glasstab, welchen man mehrmals durch die Flamme einer Spirituslampe gezogen hat, bei schwachem Reiben mit Tuch negativ elektrisch wird, während sich bei stärkerem Reiben die positive Elektricität wieder einstellt. — Die Weingeistflamme wirkt hier wohl nur insofern als sie das Glas von der Luftschicht befreit, welche gewöhnlich auf der Oberfläche desselben condensirt ist.

Wenn man die eine Längenhälfte eines Glasstabes matt schleift, der anderen aber die natürliche Oberfläche lässt, so zeigt das matte Ende, mit Wolle gerieben, negative Elektricität, während das glatte Ende unter denselben Umständen positiv wird. Mit Amalgam gerieben werden beide Enden des Glasstabes positiv.

Greiss hat gefunden, dass Siegellack mit Zunder oder Korkholz gerieben positiv elektrisch wird.

Neuerdings hat Poggendorff gefunden, dass selbst diejenigen Isolatoren, welche durch Reiben mit den meisten organischen Substanzen sehr stark negativ elektrisch werden, wie z. B. Horngummi (Kammmasse) und das durch seine Entzündlichkeit bekannte Pyroxylin-Papier (Pyropapier) eine starke Ladung positiver Elektricität annehmen, wenn sie an einem mit Kienmayer'schem Amalgam überzogenen Stück Leder gerieben oder vielmehr sanft gestrichen werden.

Ein auf diese Weise positiv gemachter Streifen Pyropapier bildet ein ebenso empfindliches Elektroskop für positiv elektrische Körper, wie ein zwischen den Fingern durchgezogener und dadurch negativ elektrisch gemachter Streifen dieses Papiers es für negativ elektrische Körper ist.

Poggendorff fand ferner, dass Horngummi, Guttapercha, Kautschuk, Colophonium, Schellack, Schwefel, Seide, Pyropapier, Collodium u. s. w. durch Reiben mit den sogenannten elektronegativen Metallen (Platin, Gold, Silber u. s. w.) positiv elektrisch gemacht werden, während die elektropositiven Metalle (Zink, Kadmium, Eisen u. s. w.) dieselben Substanzen in den negativen Zustand versetzen.

Dualisten und Unitarier. Die Anhänger der eben entwickelten Theorie, nach welcher es zwei verschiedene elektrische Fluida giebt, an deren Spitze Symmer steht, werden mit dem Namen der Dualisten bezeichnet, im Gegensatze zu den Unitariern, welche nach Franklin und Aepinus nur ein elektrisches Fluidum annehmen. Von diesem Fluidum 35

muss in jedem Körper eine bestimmte Menge enthalten sein, wenn er sich im gewöhnlichen Zustande befindet. Ein Ueberschuss dieses Fluidums bedingt den positiv elektrischen, ein Mangel den negativ elektrischen Zustand; die einzelnen Theilchen dieser elektrischen Flüssigkeit stossen sich einander ab, die Körpertheilchen aber ziehen sie an. Diese Theorie erklärt allerdings die Erscheinungen der elektrischen Vertheilung und die gegenseitige Abstossung positiv elektrischer Körper ganz gut, zur Erklärung der gegenseitigen Abstossung negativ elektrischer Körper muss sie aber die höchst unwahrscheinliche Hülfshypothese zur Hand nehmen, dass die aller elektrischen Flüssigkeit beraubten Körpertheilchen sich einander gleichfalls abstossen. Der Schwierigkeiten wegen, auf welche man bei der Erklärung mancher elektrischen Erscheinungen nach der Theorie der Unitarier stösst, ist sie gegenwärtig wohl fast von allen Physikern verlassen, indem sich diese der dualistischen Ansicht zugewendet haben.

Faraday hat eine neue Theorie der elektrischen Erscheinungen aufgestellt, nach welcher die Elektricität keine Wirkung in die Ferne ausüben soll; die vertheilende Wirkung, welche ein elektrischer Körper durch isolirende Körper hindurch ausübt, erklärt er durch einen polaren Zustand der Theilchen der die Leiter trennenden nicht leitenden Substanzen. Faraday, welcher sonst um die Elektricitätslehre so grosse Verdienste hat, entwickelt seine Ansicht ebenso weitläufig als unklar. Was aber besonders zur Verwirrung der Begriffe beiträgt, ist der Umstand, dass er eine Menge von Versuchen beschreibt, deren Resultat sich nach den bisherigen Ansichten voraussehen liess, während er sie doch als Argumente gegen dieselben anführt. Da Faraday's neue Theorie in ihrer jetzigen Form wenigstens noch nicht im Stande ist, eine eben so klare Uebersicht der elektrischen Erscheinungen zu geben, wie die bisher entwickelte, so kann hier wohl eine nähere Besprechung derselben unterbleiben.

36 **Mittheilung der Elektricität.** Die freie Elektricität kann sowohl bei unmittelbarer Berührung als auch auf grössere Entfernungen hin von einem Körper zum anderen übergehen, immer hängt aber die Mittheilung von der Leitfähigkeit der Körper und der Grösse ihrer Oberfläche ab.

Bei der Berührung mit einem elektrisirten Körper nehmen schlechte Leiter die Elektricität nur unmittelbar an der berührenden Stelle auf, sie verbreitet sich nicht über ihre ganze Ausdehnung. Ebenso verliert ein elektrisirter Isolator, an einer Stelle berührt, nur unmittelbar hier etwas Elektricität, die ganze nicht berührte Oberfläche bleibt nach wie vor elektrisch. Es lässt sich dies sehr leicht mit einer geriebenen Glas- oder Siegellackstange zeigen. Bei guten Leitern verhält sich die Sache ganz anders. An einem Punkte mit einem elektrischen Körper berührt verbreitet sich die übergegangene Elektricität über den ganzen Leiter, und wenn man einen isolirten elektrisirten Leiter mit dem Boden in leitende Verbindung bringt, so verliert er augenblicklich alle seine Elektricität.

Auch ohne unmittelbare Berührung kann die Elektricität von einem Körper zum anderen übergehen, und man beobachtet dabei das merkwürdige Phänomen des elektrischen Funkens. Wenn man einem geriebenen Glas- oder Schellackstab einen Metallstab oder den Knöchel eines Fingers nähert, so sieht man ein Fünkchen überspringen und hört dabei ein knisterndes Geräusch. Sehr stark erhält man diese knisternden Funken, wenn man einen Bogen Papier, der auf einer warmen, wo möglich metallischen Unterlage liegt, mit Wollentuch peitscht und dann aufhebt; auf 1 bis 2 Zoll weit springen alsdann vom Papier die Funken auf den genäherten Finger über. Wenn der elektrisirte Körper metallisch und von bedeutender Oberfläche ist, wie der Conductor der Elektrisirmaschine, so werden die Funken stärker, sie springen unter Umständen schon in einer Entfernung von 1 bis 4 Fuss über; ihr Licht ist dann blendend hell, und das Geräusch, welches sie begleitet, sehr stark.

Otto von Guericke, der Erfinder der Luftpumpe, hat zuerst den elektrischen Funken beobachtet. Später zeigte Dufay zur allgemeinen Verwunderung, dass man selbst aus dem menschlichen Körper, wie aus dem Conductor der Maschine, Funken entlocken könne, wie wir später sehen werden.

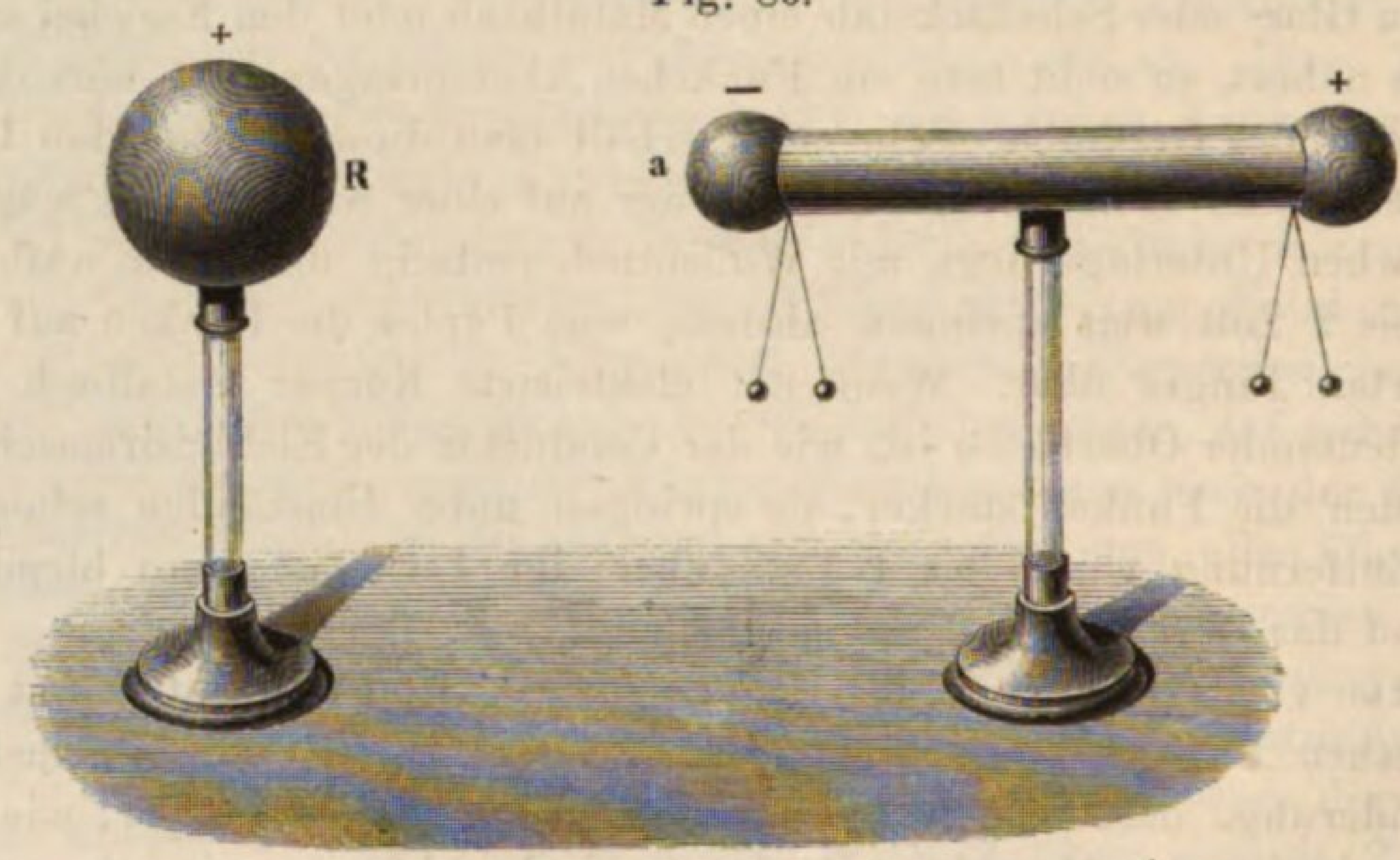
Wenn die Elektricität von einem isolirten Leiter auf einen anderen übergeht, so vertheilt sie sich stets nach dem Verhältnisse der Oberflächen; damit also ein isolirter Leiter alle seine Elektricität verliere, muss man ihn mit einem anderen in Berührung bringen, dessen Oberfläche unverhältnissmässig grösser ist, also z. B. mit dem Fussboden, denn dadurch ist er mit der ganzen Erdoberfläche in Verbindung, auf welcher sich seine Elektricität spurlos verliert, eben weil sie sich über eine so ungeheure Fläche gleichmässig vertheilt. Wenn man eine isolirte elektrisirte Metallkugel mit einer anderen gleich grossen, gleichfalls isolirten, aber nicht elektrischen in Berührung bringt, so wird erstere gerade die Hälfte ihrer E verlieren. Wenn man dem Conductor der Elektrisirmaschine eine isolirte Metallkugel nähert, so schlagen nur schwache Funken über, während man mit einem nicht isolirten Leiter dem Conductor sehr kräftige Funken entlocken kann.

Elektrische Vertheilung. Wir haben gesehen, dass jede der elektrischen Flüssigkeiten die gleichnamige abstösst und die ungleichnamige anzieht. Diese Anziehung und Abstossung äussert sich aber nicht allein auf die schon zersetzten Flüssigkeiten, sondern auch auf die noch verbundenen, und daher kommt es, dass die verbundenen Elektricitäten eines Leiters, der sich im natürlichen Zustande befindet, durch die Annäherung eines elektrischen Körpers von einander geschieden, dass also jener Körper durch Vertheilung elektrisch wird. 37

Es lässt sich dies dadurch nachweisen, dass man einem isolirten Leiter ab, Fig. 86 (a. f. S.), einen elektrischen Körper R nähert oder auch dadurch, dass man den isolirten Leiter ab in der Nähe des isolirten Leiters

R aufstellt und dann dem Leiter *R* eine elektrische Ladung von entsprechender Stärke mittheilt. Hat man dem Leiter *R* eine positive

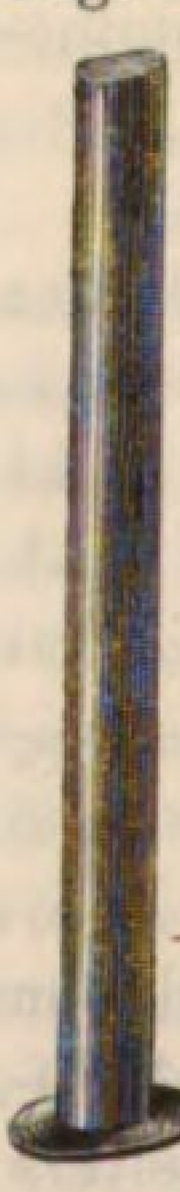
Fig. 86.



Ladung mitgetheilt, so wird die Elektricität auf *ab* in der Weise vertheilt, dass sich die von *R* angezogene negative Elektricität auf der ihm zugewendeten Hälfte des Leiters *ab* und zwar vorzugsweise bei *a* anhäuft, während die abgestossene positive Elektricität auf die abgewandte Seite des Conductors getrieben wird und vorzugsweise bei *b* angehäuft ist.

Dass die Elektricitäten wirklich auf diese Weise vertheilt sind, lässt sich durch ein Probescheibchen nachweisen. Es ist dies ein Scheibchen von Rauschgold oder von Messingblech von 1 bis $1^1/_2$ Centimeter Durchmesser, welches an einem ungefähr 20 Centimeter langen Stäbchen von Schellack oder einer möglichst dünnen Stange des feinsten Siegellackes befestigt ist, Fig. 87. (Ein Glasstäbchen, selbst wenn es wohl gefirnisst ist, zeigt sich meist ungenügend zur Isolirung des Probescheibchens.) Ausgezeichnet isolirende Stäbchen für Probescheibchen liefern auch die Federhalter von Kamm-Masse, welche gegenwärtig sehr verbreitet sind. Berührt man mit diesem Scheibchen den isolirten Leiter bei *a*, während der positiv elektrische Körper *R* sich in der Nähe befindet, so wird sich das Probescheibchen mit der hier angehäuften Elektricität laden, und welche Elektricität dies sei erfährt man, wenn man es einem an einem Seidenfaden hängenden, etwa mit negativer Elektricität geladenen Hollundermarkkügelchen nähert. Dasselbe wird in unserem Falle von dem Probescheibchen abgestossen, weil sich dieses bei *a* mit — *E* geladen hat.

Fig. 87.



$\frac{1}{2}$

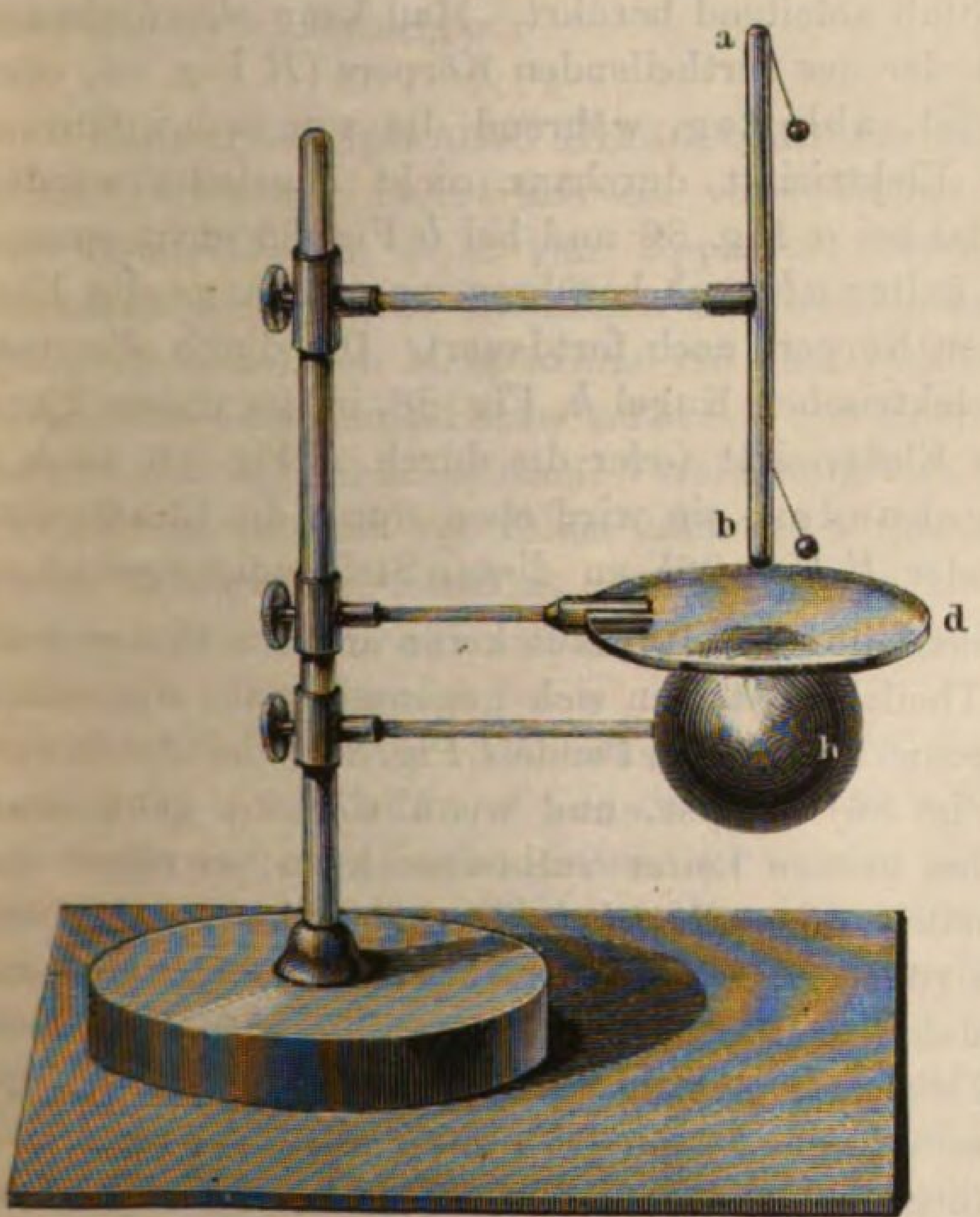
Am einfachsten lässt sich dieser Versuch in der Weise ausführen, dass man den Conductor *ab* in der Nähe des Conductors einer Elektrisirmaschine aufstellt, dass also der Conductor der

Elektrisirmaschine die Stelle des Conductors *R*, Fig. 86, vertritt. Sobald die Maschine gedreht wird, wird ihr Conductor positiv elektrisch und wirkt dann in der angegebenen Weise vertheilend auf den $1^1/_2$ bis 2 Fuss entfernten Conductor *ab*.

Um die bei *a* und *b* durch die vertheilende Wirkung des elektrischen Körpers *r* frei gewordene Elektricität auch ohne Probescheibchen nachzuweisen, brachte Biot nahe an den Enden des isolirten Leiters elektrische Doppelpendel an (an leinenen Fäden hängende Hollundermarkkügelchen), welche augenblicklich divergiren, sobald man einen elektrischen Körper *R* nähert; die Pendel bei *a* divergiren, weil beide Kugeln mit der durch *R* angezogenen, die bei *b*, weil sie mit der von *R* abgestossenen Elektricität geladen sind.

In dieser Form gelingt aber der Versuch nicht immer, weil die Pendel bei *a* durch die Einwirkung von *R* stark aus der verticalen Richtung abgelenkt und gegen *R* hingezogen werden, wodurch in der That Missverständnisse veranlasst wurden. Riess hat dem Fundamentalversuche der elektrischen Vertheilung eine zweckmässigere Form gegeben, durch welche alle Einwürfe beseitigt sind. Fig. 88 stellt den Riess'schen Vertheilungsapparat in $^1/_5$ der natürlichen Grösse dar. Ein cylindrischer Messingstab *ab* ist mittelst eines wohl isolirenden Glasarmes vertical stehend an einem passenden Stativ so angebracht, dass er auf- und niedergeschoben und in beliebiger Höhe festgestellt werden kann. In gleicher Weise trägt das Stativ die Glasscheibe *d* und die hohle Messingkugel *h*, welche so gestellt werden, dass ihre Mittelpunkte vertical unter der verticalen Axe des Stabes *ab* stehen, dass der Abstand der Kugel von dem Stabe ungefähr 1 Zoll beträgt und die Glasscheibe frei zwischen ihnen steht.

Fig. 88.



An dem oberen und unteren Ende des Metallstabes *ab* sind an zolllangen Leinenfäden hängend zwei Hollundermarkkügelchen angebracht, welche sogleich von dem Metallstabe, an welchem sie sonst anliegen, abgestossen werden, sobald man der Kugel *h* Elektricität mittheilt. Nähert man aber den abgestossenen Pendeln eine geriebene Siegellackstange, so wird das eine von derselben angezogen, das andere wird abgestossen, ein Beweis, dass das eine Pendel mit positiver, das andere mit negativer Elektricität geladen ist. Nehmen wir z. B. an, man habe die Kugel *h* mit positiver Elektricität geladen, so wird man finden, dass das obere Pendel bei *a* gleichfalls positiv elektrisch ist, während das untere bei *b* eine negative Ladung zeigt.

Ein durch Vertheilung elektrisirter Körper wirkt seinerseits auch wieder vertheilend auf andere, die ihm hinlänglich genähert werden, die sich also in seiner Wirkungssphäre befinden, und diese Wirkungen können sich auf ziemliche Entfernungen fortpflanzen.

Setzt man den durch Vertheilung elektrisch gemachten isolirten Leiter *ab*, Fig. 86, mit dem Boden in leitende Verbindung, indem man ihn etwa mit dem Finger berührt, während die vertheilende Wirkung von *R* noch fortdauert, so fallen die Pendel bei *b* zusammen, während die Pendel bei *a* noch etwas weiter divergiren. Ebenso wird das obere Pendel am Stabe, Fig. 88, an den Stab herabfallen, das untere noch mehr steigen, wenn man den Stab ableitend berührt. Man kann also diejenige Elektricität, welche mit der des vertheilenden Körpers (*R* Fig. 86, oder *h* Fig. 88) gleichnamig ist, ableiten, während die von dem influirenden Körper angezogene Elektricität durchaus nicht abgeleitet werden kann, indem ja die Pendel bei *a* Fig. 86 und bei *b* Fig. 88 nicht zusammenfallen, wie man den Leiter *ab* auch berühren mag, so lange die Einwirkung des vertheilenden Körpers noch fortdauert. Die durch die vertheilende Wirkung der elektrischen Kugel *h*, Fig. 88, in das untere Ende des Stabes *ab* gezogene Elektricität (oder die durch *R* Fig. 86 nach *a* gezogene) ist also hier gebunden, sie wird eben durch die Elektricität der Kugel *h*, Fig. 88 (oder *R* Fig. 86), an dieser Stelle zurückgehalten.

Die gebundene Elektricität hat durchaus keine anderen Eigenschaften als die freie; ihre Theilchen stossen sich gegenseitig ab, wie schon die fortwährende Divergenz des unteren Pendels Fig. 88 (oder die Divergenz der Pendel bei *a* Fig. 86) beweist, und wenn sich die gebundene Elektricität nicht über den ganzen Leiter verbreiten kann, so rührt das nicht daher, dass die Theilchen derselben kein Bestreben hätten, sich von einander zu entfernen, es rührt nicht von einem Mangel am Propagationsvermögen her, sondern daher, dass der Kraft, mit welcher sich die Theilchen der gebundenen Elektricität gegenseitig abstossen, und vermöge welcher sie sich über den ganzen Leiter verbreiten würden, durch die von den vertheilenden Körpern ausgehende Anziehung das Gleichgewicht gehalten wird.

Die oben in §. 31 beschriebenen Anziehungserscheinungen finden durch die Gesetze der elektrischen Vertheilung nun auch ihre Erklärung. Wenn einem Leiter, der sich im natürlichen Zustande befindet, ein elektrischer Körper genähert wird, so werden seine Elektricitäten zerlegt. Dies ist nun auch bei dem Korkkügelchen des einfachen elektrischen Pendels der Fall. Ist es an einem Seidenfaden aufgehängt, so kann die abgestossene *E* nicht aus dem Kügelchen entweichen, sie wird auf die hintere Seite des Kügelchens getrieben, während sich die angezogene auf der Vorderseite anhäuft. Weil aber die angezogene *E* dem Körper, von welchem die Wirkung ausgeht, näher ist, so ist die Anziehung stärker als die Abstossung; die Kraft, welche das Kügelchen gegen den elektrischen Körper hintreibt, ist der Differenz dieser beiden entgegengesetzten Kräfte gleich, darum wird auch hier erst bei sehr geringer Entfernung des elektrischen Körpers eine Anziehung erfolgen. Weit energischer ist die Wirkung, wenn das Kügelchen an einem leitenden Faden aufgehängt ist, weil alsdann die abgestossene *E* entweichen kann und durch sie die Anziehung nicht geschwächt wird.

Ein Kügelchen von Schellack wird bei Annäherung eines elektrischen Körpers nicht angezogen, weil der genäherte Körper nur sehr schwer Vertheilung in demselben hervorbringen kann. Es ist dies eine Erscheinung, welche der ganz analog ist, dass ein Magnet in einem Stück weichen Eisens eine magnetische Vertheilung hervorbringt, in einem Stück Stahl aber ungleich schwieriger.

Elektroskope und Elektrometer. Das Princip der elektrischen Vertheilung liefert uns ein vortreffliches Mittel zur Construction von Elektroskopen, d. h. von Apparaten, vermittelst deren man auch schwächere elektrische Ladungen nachweisen kann. Wenn am unteren Ende eines isolirten Metallstabes ein Paar elektrische Pendel hängen, so divergiren diese, sobald man von oben her einen elektrischen Körper nähert. Um aus einer solchen Vorrichtung ein brauchbares Elektroskop zu machen, hat man vor Allem dafür zu sorgen, dass die Pendel sich in einem Glasgefässe befinden, damit störende Luftströmungen von ihnen abgehalten werden, und dann, dass das leitende System, welches die Pendel trägt, gehörig isolirt sei. 38

Bei Franklin's Elektroskop bestanden die Pendel aus zwei einfachen leinenen Fäden. Canton versah diese Fäden mit Korkkügelchen, um sie besser zu spannen. Saussure wandte als elektrische Pendel seines Elektroskops zwei feine Silberdrähte mit unten angesteckten Hollundermarkkügelchen an. Volta ersetzte diese Silberfäden durch gerade, ganz feine Strohhälmchen, und Bennet endlich setzte an die Stelle der Strohhalme zwei schmale Streifen von Blattgold.

Aus dem Grade der Divergenz der Pendel kann man auf die Stärke ihrer elektrischen Ladung schliessen, und deshalb nennt man solche Elektroskope auch Elektrometer, und zwar namentlich, wenn sie mit einem

Gradbogen versehen sind, an welchem man die Grösse der Divergenz ablesen kann.

Fig. 89 stellt ein Goldblattelektroskop, Fig. 90 ein Strohhalmelektrometer dar.

Fig. 89.

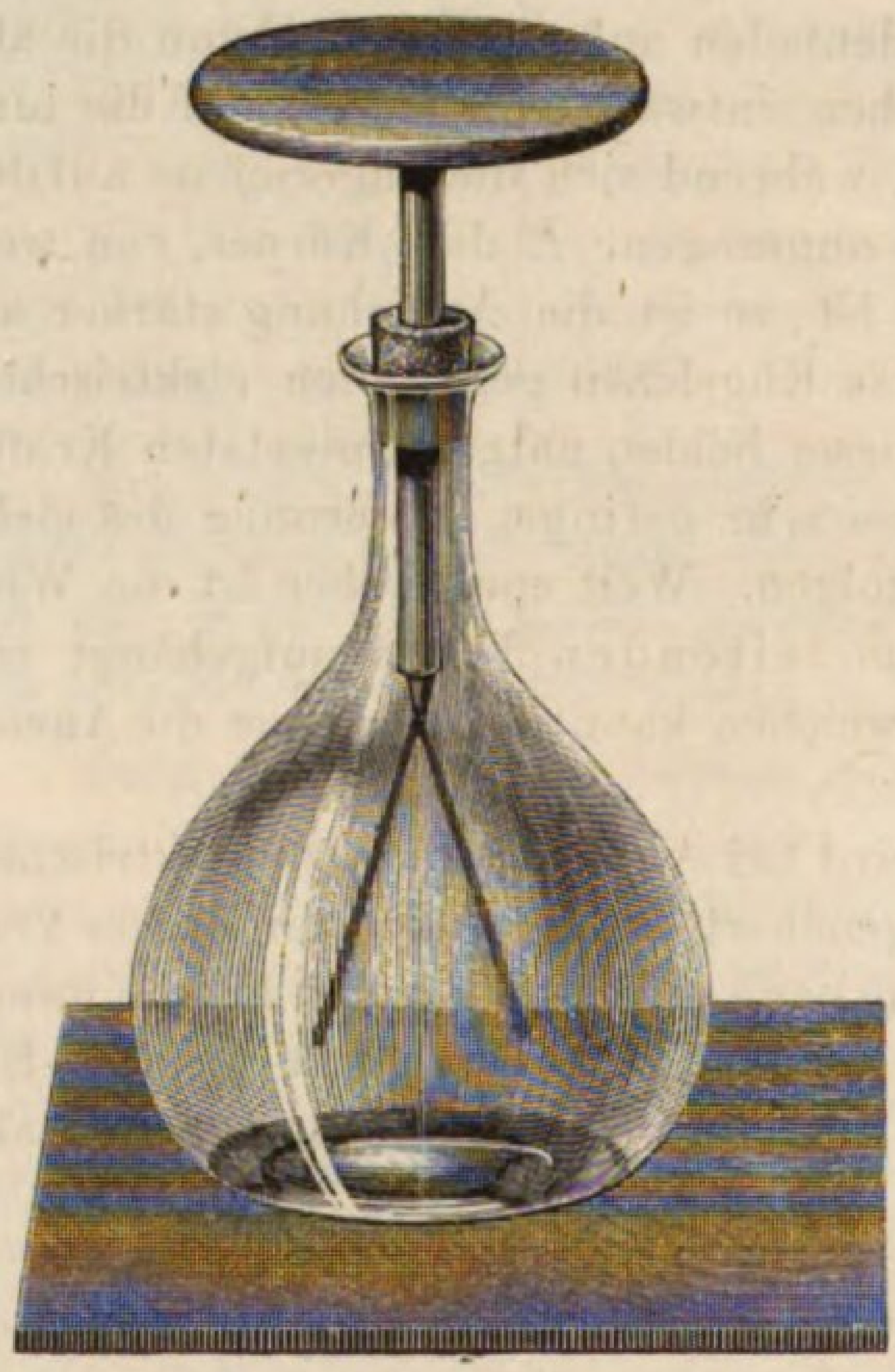


Fig. 90.

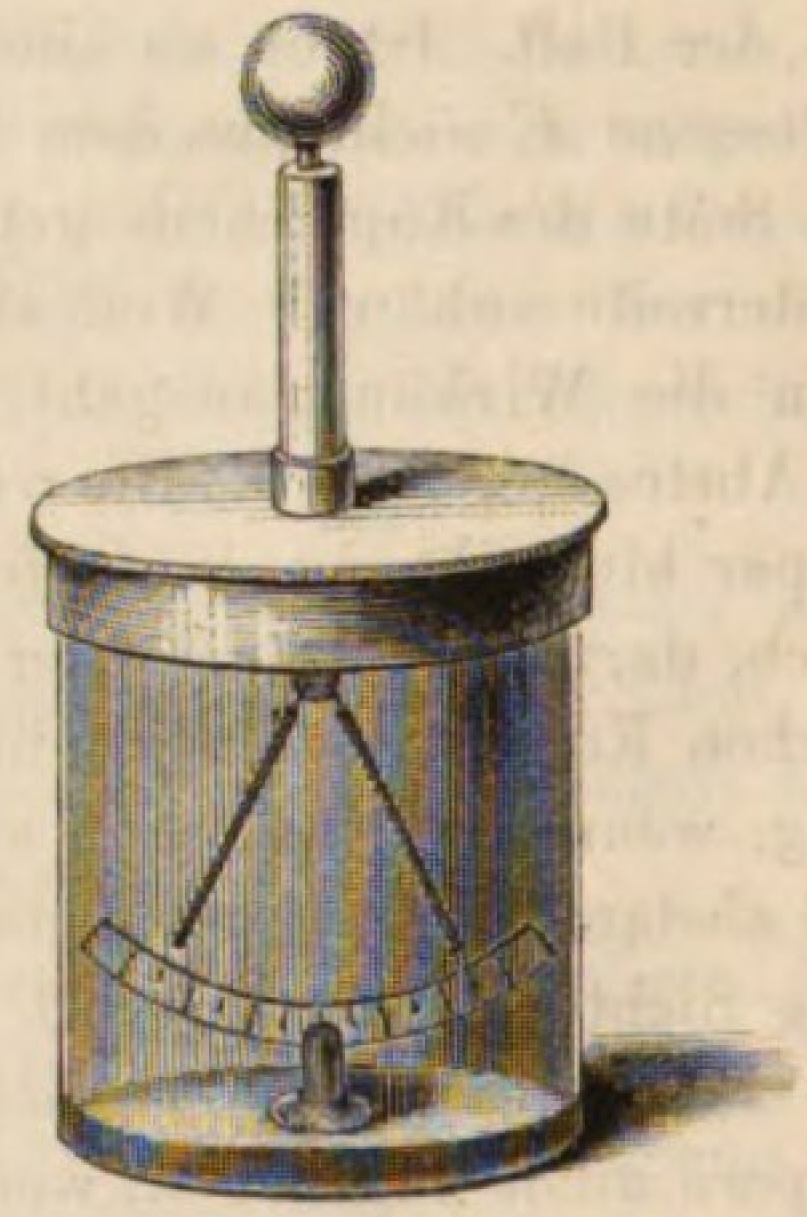


Fig. 91.



Bei den beiden hier abgebildeten Instrumenten ist die Isolation des Messingstäbchens, an welchem unten die Pendel hängen, dadurch bewirkt, dass es in einer Glasröhre steckt. An dem oberen Ende dieses Zuleitungsstäbchens ist nun entweder eine Metallplatte angeschraubt, wie Fig. 89, oder eine kleine Kugel, wie Fig. 90.

Man kann das zuleitende Messingstäbchen entweder dadurch in der Glasröhre befestigen, dass man es mit Siegellack in derselben einkittet, oder dass man, nach Buff's Vorschlag, das Stäbchen an zwei Stellen mit Seide so dick umwickelt, dass es in die vorher innen und aussen mit Schellack gefirnisste Röhre eingeschoben, mit einiger Reibung noch auf- und niederbewegt werden kann.

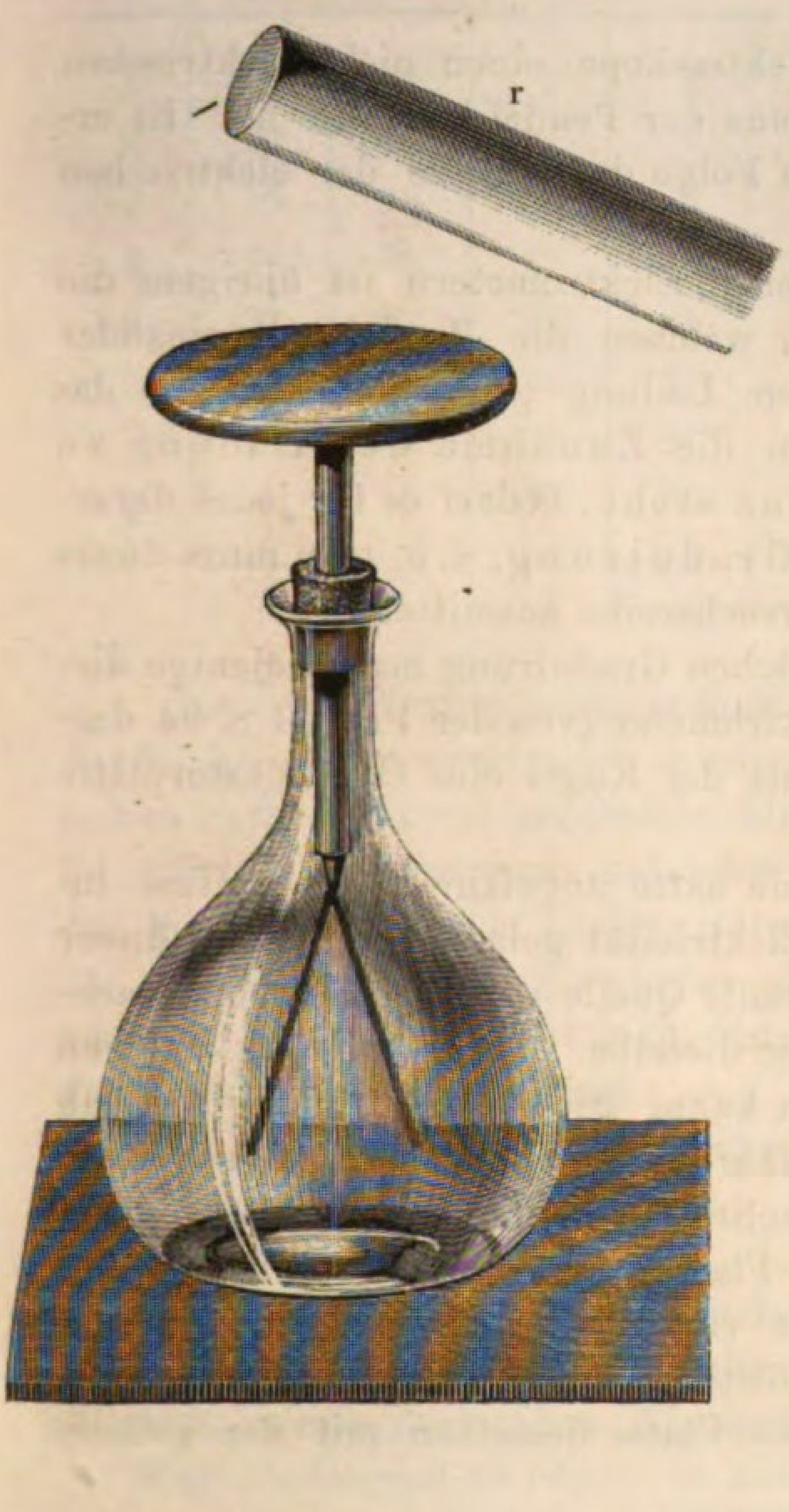
Ganz vorzüglich ist die Isolirung an den kleinen Kugelelektrometern, Fig. 91, welche vorzugsweise von verschiedenen Berliner Mechanikern angefertigt werden. Um den Hals eines 3 Zoll weiten Glasballons ist eine Messingfassung mit innerlichem Schraubenzuge gekittet;

in diese Fassung wird eine dicke Messingscheibe mit zwischengelegter Lederscheibe eingeschraubt. Die Scheibe hat ein 3 Linien weites Loch, in welches der 1 Linie dicke, 2 Zoll lange Zuleitungsdraht mit Schellack eingekittet wird. Zu diesem Zwecke umgiebt man den Draht an der geeigneten Stelle mit einer dicken Lage von Schellack, rollt diese auf Glas zu einem Cylinder aus und steckt dann den Draht mit dieser Schellackhülse in das Loch der heissen Messingplatte. Innerhalb des Ballons endigt der Draht mit einer Zuschärfung, an welcher die 1 Zoll langen Goldblättchen befestigt sind, welche selbst bei der stärksten Divergenz die Glaswand nicht berühren können. Den Flächen der Goldblättchen gegenüber befinden sich an der Aussenseite des Ballons Stanniolstreifen, welche die Messingfassung mit dem Fusse des Elektroskops verbinden. Der Ballon muss innerlich sehr trocken sein und wird deshalb mässig erwärmt, ehe man die Messingplatte luftdicht aufschraubt.

Ein sorgfältig verfertigtes Elektroskop dieser Art ist im Stande, eine mässige Ladung Stunden lang zu halten.

Wenn man untersuchen will, von welcher Natur die Elektricität irgend eines Körpers sei, so muss das Elektroskop schon im Voraus mit einer bekannten Elektricität geladen werden; dies geschieht, indem man einen Körper *r*, Fig. 92, von bekannter Elektricität von Oben her nähert und die Platte des Elektroskops mit dem Finger berührt. Dadurch wird alle von *r* abgestossene Elektricität abgeleitet, und im Apparate bleibt nur die angezogene, welche auf der Platte angehäuft ist. Sie ist hier gewissermaassen g e b u n d e n, d. h. sie kann sich nicht entfernen, weil sie durch *r* angezogen wird; deshalb divergiren die Blättchen nicht; sobald man aber erst den Finger und dann den Körper *r* entfernt, divergiren die Pendel, weil nun die Elektricität, welche durch den Körper *r* in der Platte gebunden worden war, sich frei über das ganze isolirte System, also auch über die Blättchen verbreitet. Die Elektricität, mit welcher auf diese Weise das Elektroskop geladen wird, ist natürlich die entgegengesetzte des Körpers *r*; wenn man also eine ne-

Fig. 92.



gative Ladung bezweckt, so kann man eine mit Seide geriebene Glasstange anwenden, indem diese positiv elektrisch ist.

Nähert man dem so geladenen Elektroskop einen elektrischen Körper, so wird dadurch die Divergenz der Pendel entweder vergrössert oder verkleinert werden.

Die Divergenz der Pendel wird vergrössert, wenn die E des zu untersuchenden Körpers mit derjenigen gleichnamig ist, welche man dem Apparate mitgetheilt hatte, denn durch seine Annäherung wird zunächst die in der Platte vorhandene freie Elektricität in die Pendel hinabgetrieben, ihre Ladung also verstärkt.

Wenn die Elektricität des genäherten Körpers mit derjenigen ungleichnamig ist, welche man dem Elektroskope mitgetheilt hatte, so nimmt die Divergenz ab, weil die Elektricität jetzt aus dem Pendel weg und in die Platte gezogen wird.

Hat man auf diese Weise die Pendel zusammenfallen gemacht, so divergiren sie von Neuem, wenn man den elektrischen Körper, welcher diesen Effect hervorgebracht hat, noch weiter nähert, weil nun durch seine kräftiger vertheilende Wirkung die ihm gleichnamige Elektricität in die Pendel hinab getrieben wird.

Wenn man einem geladenen Elektroskope einen nicht elektrischen Leiter nähert, so nimmt die Divergenz der Pendel ebenfalls ab. Es ergiebt sich dies leicht als nothwendige Folge der Gesetze der elektrischen Vertheilung.

Bei den mit Gradbogen versehenen Elektrometern ist übrigens die Divergenz der Pendel (der Winkel, welchen die Pendel mit einander machen) keineswegs der elektrischen Ladung proportional. Um das Verhältniss zu erfahren, in welchem die Zunahme der Ladung zu der Vergrösserung der Divergenz steht, bedarf es für jedes derartige Instrument einer empirischen Graduirung, d. h. man muss dieses Verhältniss durch eine besondere Versuchsreihe ausmitteln.

Als Beispiel einer solchen empirischen Graduirung mag diejenige dienen, welche ich für ein Strohhalmelektrometer (von der Fig. 90 S. 94 dargestellten Art, auf welches jedoch statt der Kugel eine Condensatorplatte aufgeschraubt war) ausgeführt habe.

Eine grosse Leydener Flasche (sie hatte ungefähr 2 Quadratfuss innere Belegung) wurde mit positiver Elektricität geladen; der Knopf dieser Flasche konnte als eine ziemlich constante Quelle von Elektricität betrachtet werden, von der man leicht immer dieselbe kleine Quantität nehmen und auf das Elektrometer übertragen kann. Diese Uebertragung geschah mittelst einer Messingkugel von ungefähr 3''' Durchmesser, die durch einen hinlänglich langen Siegellackstiel isolirt war. Es wurde diese kleine Kugel mit der Kugel der Leydener Flasche in Berührung gebracht und dadurch mit einer bestimmten Menge von Elektricität geladen, die wir mit 1 bezeichnen wollen. Diese Quantität 1 wurde nun dadurch auf das Elektrometer übertragen, dass man die Platte desselben mit der gelade-

nen Kugel berührte; die Pendel divergirten und die der Elektricitätsmenge 1 entsprechende Divergenz wurde abgelesen.

Nun wurde die kleine Kugel abermals mit der Kugel der Flasche in Berührung gebracht und dieselbe Elektricitätsmenge abermals auf das Elektrometer übertragen, dessen Divergenz dadurch eine entsprechende Zunahme erhielt. Auf solche Weise wurde nun die Ladung des Elektrometers stets um dieselbe Elektricitätsmenge vermehrt und stets die entsprechende Divergenz der Pendel beobachtet.

Die Steigerung der Ladung wurde bis zu den Quantitäten 7, 8 oder 9 fortgesetzt, darauf der Elektrometer entladen und dieselbe Versuchsreihe wiederholt.

Dass während der ganzen Versuchszeit die Stärke der elektrischen Ladung der Flasche nicht merklich abnahm, geht aus den Zahlen der folgenden Tabelle hervor, welche die Resultate von 8 Versuchsreihen enthält.

E	d	d	d	d	d	d	d	d	Mittel
1	6^0	7^0	7^0	7^0	7^0	6^0	$5{,}5^0$	6^0	6,4
2	10	11	11	9	11	10	10	11	10,3
3	15	15	15	15	14,5	16	14	15	14,6
4	18,5	18	19	18	18	19	17,5	19	18
5	22	22	22	21	21,5	22	21,5	22	21,4
6	24,5	25	25	24	24,5	—	23	23	24
7	28	28	28	27	27	—	28,5	28,5	28
8	—	30	32	30	30	—	31,5	31	30,7
9	—	—	—	—	—	—	33,5	34	33,7

Die erste Verticalreihe enthält die Elektricitätsmengen, welche auf das Elektrometer übertragen worden sind, jede der folgenden 8 Verticalreihen enthält die entsprechenden Divergenzen, wie sie bei 8 aufeinander folgenden Versuchsreihen gefunden wurden, die letzte Columne enthält das Mittel der für jede Elektricitätsmenge gefundenen Divergenzen.

Der Zusammenhang zwischen der Pendeldivergenz d und der elektrischen Ladung E lässt sich für dieses Instrument annähernd genau durch die empirische Formel

$$E = 0{,}124 + 0{,}0051\, d^2 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 1)$$

ausdrücken.

Das Elektrophor. Nachdem wir die Lehre von der elektrischen Vertheilung kennen gelernt haben, können wir nun auch die Wirkungsweise derjenigen Apparate besprechen, welche man vorzugs- 39

Bayerische Staatsbibliothek München

weise benutzt, wenn es sich um Elektricitätsentwickelung in bedeutenderem Maassstabe handelt, nämlich das **Elektrophor** und die **Elektrisirmaschine**.

Das von **Wilke** erfundene und von **Volta** verbesserte **Elektrophor** besteht aus einem Harzkuchen *a*, Fig. 93, welcher in eine metallene Form, gleichsam einen Teller von Metall, gegossen ist, oder auch

Fig. 93.



nur, wie es unsere Figur zeigt, auf eine metallische Unterlage (ein mit Stanniol überzogenes Brett) *c* frei aufgelegt wird. Es ist sehr wesentlich, dass die Oberfläche des Harzkuchens möglichst eben sei. Auf diesen Harzkuchen, dessen Oberfläche durch Schlagen mit einem Fuchsschwanze oder einem Katzenpelze negativ elektrisch gemacht wird, setzt man einen mit einer isolirenden Handhabe versehenen oder an drei seidenen Schnüren hängenden Metalldeckel frei auf. Die — *E* des Harzkuchens wirkt vertheilend auf die bis dahin noch verbundenen Elektricitäten im Deckel, die + *E* wird angezogen, die — *E* aber abgestossen; die + *E* wird sich deshalb im unteren, die — *E* im oberen Theil des Deckels anhäufen. Nähert man dem Deckel einen Finger, so springt ein Funken über, und wenn man den Deckel mit dem Finger berührt, so wird alle — *E* sich entfernen und der Deckel nur noch + *E* enthalten, die aber durch die — *E* des Harzkuchens gebunden ist, so lange der Deckel auf demselben liegen bleibt. Hebt man aber den Deckel von dem Kuchen ab, indem man ihn an den Schnüren in die Höhe zieht, so wird diese + *E* frei, und man kann nun aus dem Deckel einen Funken positiver Elektricität ziehen.

Als Elektrophormasse wendet man gewöhnlich Schellack an, welchem so viel Wachs oder Terpentin zugesetzt wird, dass die Masse weniger spröde wird (etwa 1 Theil Wachs oder Terpentin auf 5 Theile Schellack). **Böttger** empfiehlt als sehr wirksam und wenig spröde eine Masse aus 5 Gewichtstheilen Schellack, 5 Theilen Mastix, 2 Theilen venetianischem Terpentin und 1 Theil Marineleim (einer aus Schellack, Steinkohlentheer und Kautschuk bestehenden Masse).

Wenn die Harzmasse in einen Teller von Blech eingegossen wird, so bekommt das Elektrophor leicht Risse, weil sich bei Temperaturverände-

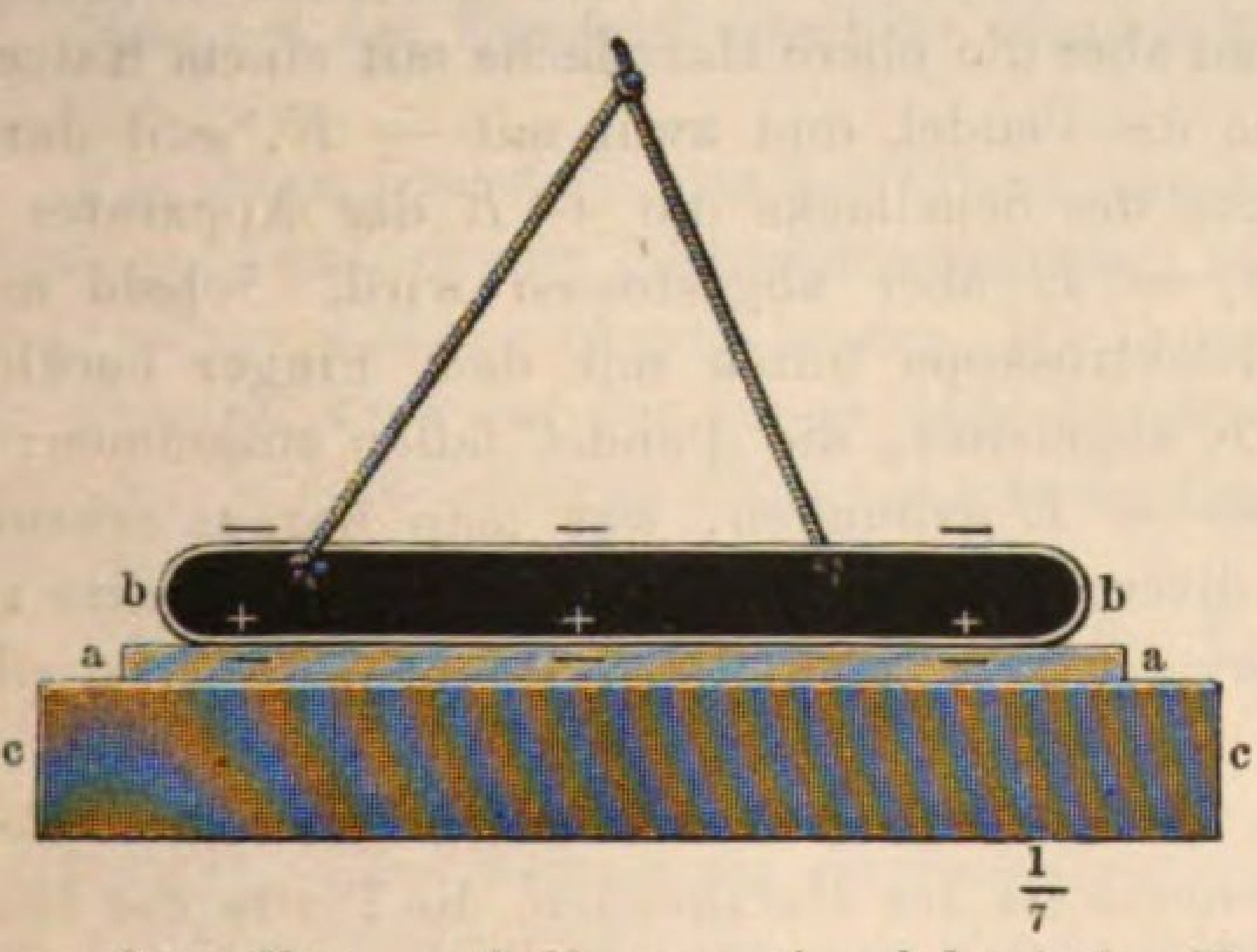
rungen das Metall stärker ausdehnt und zusammenzieht als das Harz; deshalb ist es besser, den Harzkuchen frei auf die leitende Unterlage aufzulegen, wie unsere Figur zeigt; nur muss man bei dieser Vorrichtung dafür Sorge tragen, dass der Elektrophorkuchen stets auf einer ebenen Unterlage aufliegt, weil er sich sonst krümmt, wenn die Masse bei heissem Wetter weich wird.

Statt der Harzkuchen hat man auch Platten von Guttapercha für Elektrophore angewandt, dieselben haben sich aber nicht gut bewährt, indem die Guttapercha sehr veränderlich ist und leicht ihre elektrischen Eigenschaften verliert. Dagegen wendet man mit dem besten Erfolge gehärtetes Kautschuk (die unter den Namen Kamm-Masse bekannte Substanz, weil vorzugsweise Frisirkämme aus derselben verfertigt werden, welche aus vulkanisirtem Kautschuk und Guttapercha zusammengesetzt ist) als Elektrophorkuchen an.

Der Deckel des Elektrophors ist in der Regel von Messing oder Zinn und mit einem abgerundeten Rande versehen. Man kann jedoch auch Deckel von Glas, Holz oder Pappe anwenden, die mit Stanniol überzogen sind; nur muss dafür gesorgt sein, dass die untere Fläche, welche auf den Harzkuchen zu liegen kommt, wie dieser selbst, möglichst eben ist.

Eine der zweckmässigsten Arten, den Elektrophordeckel herzustellen, ist die, dass man denselben aus Zink- oder Messingblech in der Weise herstellt, wie Fig. 94 andeutet, so dass er innen hohl, ungefähr einen Zoll dick ist.

Fig. 94.



Bei dieser Form des Deckels lassen sich besonders die Schnüre gut anbringen, welche aber natürlich schon eingezogen werden müssen, bevor man die zwei Stücke zusammenlöthet, aus denen der Deckel besteht. In unserer Figur ist auch noch die Vertheilung der Elektricität angedeutet, welche in den Deckel eintritt, wenn man denselben auf die negativ elektrische Harzplatte aufsetzt, ohne ihn ableitend zu berühren.

Wir haben eben nur gezeigt, wie es kommt, dass dem Deckel des Elektrophors eine Ladung positiver Elektricität ertheilt werden könne, ohne dass die Rede davon war, welche Rolle die Form oder die untere Metallplatte dabei spielt. Wenn man den Harzkuchen auf eine isolirende Unterlage, etwa auf eine Glastafel, legte, so würde es nicht möglich sein so starke Ladungen zu erhalten, wie es der Fall ist, wenn der Kuchen eine leitende Unterlage hat. Durch das Schlagen mit dem Pelze kann

nämlich nur noch so lange Elektricität entwickelt werden, bis eine gewisse Gränze freier Ladung des Kuchens erreicht ist, über welche Gränze hinaus jede neu entwickelte — E des Kuchens sogleich zu ihrem Gegensatze im Pelz übergehen würde. Wenn aber der Harzkuchen auf einer leitenden Unterlage liegt, so wirkt die — E des Kuchens vertheilend auf dieselbe, die — E der Form wird abgestossen, die + E angezogen. Die + E der Form aber zieht auch die — E des Kuchens an und trägt dazu bei, dieselbe auf dem Kuchen zu binden. Wenn man einen Harzkuchen, der während des Schlagens mit Pelz auf einer leitenden Unterlage gelegen hat, aufhebt, so wird nun auf einmal alle E frei, welche durch den Einfluss der Unterlage auf dem Harze zurückgehalten war; man kann demselben zahlreiche kräftige Funken entziehen, welche während des Aufliegens nicht übersprangen.

Sehr leicht lässt sich dies mit jeder dünnen Elektrophorplatte zeigen. Ist sie auf einer leitenden Unterlage liegend mit Tuch oder einem Felle gepeitscht worden, so kann man keine oder nur schwache Funken aus ihr ziehen, während sie lange Funken sprüht, sobald man sie von der leitenden Unterlage aufhebt.

Die Gesetze des Elektrophors lassen sich mit Hülfe eines dem Elektroskop, Fig. 89, ähnlichen aber weniger empfindlichen Instrumentes nachweisen. Man lege auf die Platte des Elektroskops eine Scheibe von Schellack oder auch eine Platte von Guttapercha, deren Durchmesser noch etwas grösser ist als der Durchmesser der Metallplatte. Wenn, wie es sein muss, die Schellackscheibe ganz unelektrisch ist, so werden natürlich die Pendel nicht divergiren; sobald man aber die obere Harzfläche mit einem Katzenpelze schlägt, so divergiren die Pendel, und zwar mit — E, weil durch die — E auf der Oberfläche des Schellacks die + E des Apparates in der Metallplatte gebunden, — E aber abgestossen wird. Sobald man nun die Metallplatte des Elektroskops unten mit dem Finger berührt, wird die abgestossene — E abgeleitet, die Pendel fallen zusammen; in der Metallplatte bleibt aber + E gebunden, was man daraus erkennt, dass die Pendel mit + E divergiren, sobald man die Schellackplatte abhebt, sogleich aber auch wieder zusammenfallen, wenn man sie wieder auflegt.

Die eben beschriebene Anordnung stellt uns ein vollständiges Elektrophor dar, die Schellackscheibe ist der Harzkuchen, die Platte des Elektroskops ist die Form. Bei dieser Form des Versuchs ist es nun, wie wir gesehen haben, leicht, jederzeit den elektrischen Zustand der Form nachzuweisen.

Sobald man auf die obere Fläche der Schellackscheibe eine, durch eine Glasstange isolirte Metallscheibe, welche der Platte des Elektroskops ganz gleich ist und dem Deckel des Elektrophors entspricht, aufsetzt und mit dem Finger berührt, verändern sich die Umstände. In dem Moment, in welchem man aus der oberen Deckplatte die — E ableitet, so dass sie nur noch + E enthält, wird die — E des Harzkuchens durch die + E

im Deckel vollständig gebunden, sie kann nicht mehr, wie früher, bindend auf die $+ E$ der unteren Platte wirken, welche ja weiter von der geriebenen Oberfläche entfernt ist. In dem Augenblicke, in welchem man die obere Platte mit dem Finger berührt, werden deshalb die Pendel des Elektroskops divergiren, und zwar mit der $+ E$, welche bis dahin in der Platte des Elektroskops gebunden war.

Dies erklärt nun auch eine Erscheinung am Elektrophor, welche bisher noch nicht erwähnt wurde. Wenn man nämlich den Deckel gehörig aufgesetzt hat und gleichzeitig mit einem Finger den Deckel, mit einem anderen die Form berührt, so erhält man einen Schlag oder Stoss, der weit heftiger ist, als wenn man nur den Deckel berührte. Es kommt dies daher, dass die $- E$ des Deckels und die frei werdende $+ E$ der Form zu einander übergehen.

Die Elektrisirmaschine besteht aus einem geriebenen Körper, 40
einem Reibzeuge und einem isolirten Leiter.

Die reibende Fläche ist gewöhnlich ein Leder, welches mit Amalgam überzogen ist.

Der geriebene Körper ist eine Glasscheibe oder ein Glascylinder.

Der isolirte Conductor ist in der Regel durch Hohlkugeln oder hohle Cylinder aus Messingblech gebildet, welche an beiden Seiten kugelförmig abgerundet und von gläsernen, mit Schellackfirniss überzogenen Säulen getragen werden.

Man hat der Elektrisirmaschine mancherlei verschiedene Einrichtungen gegeben.

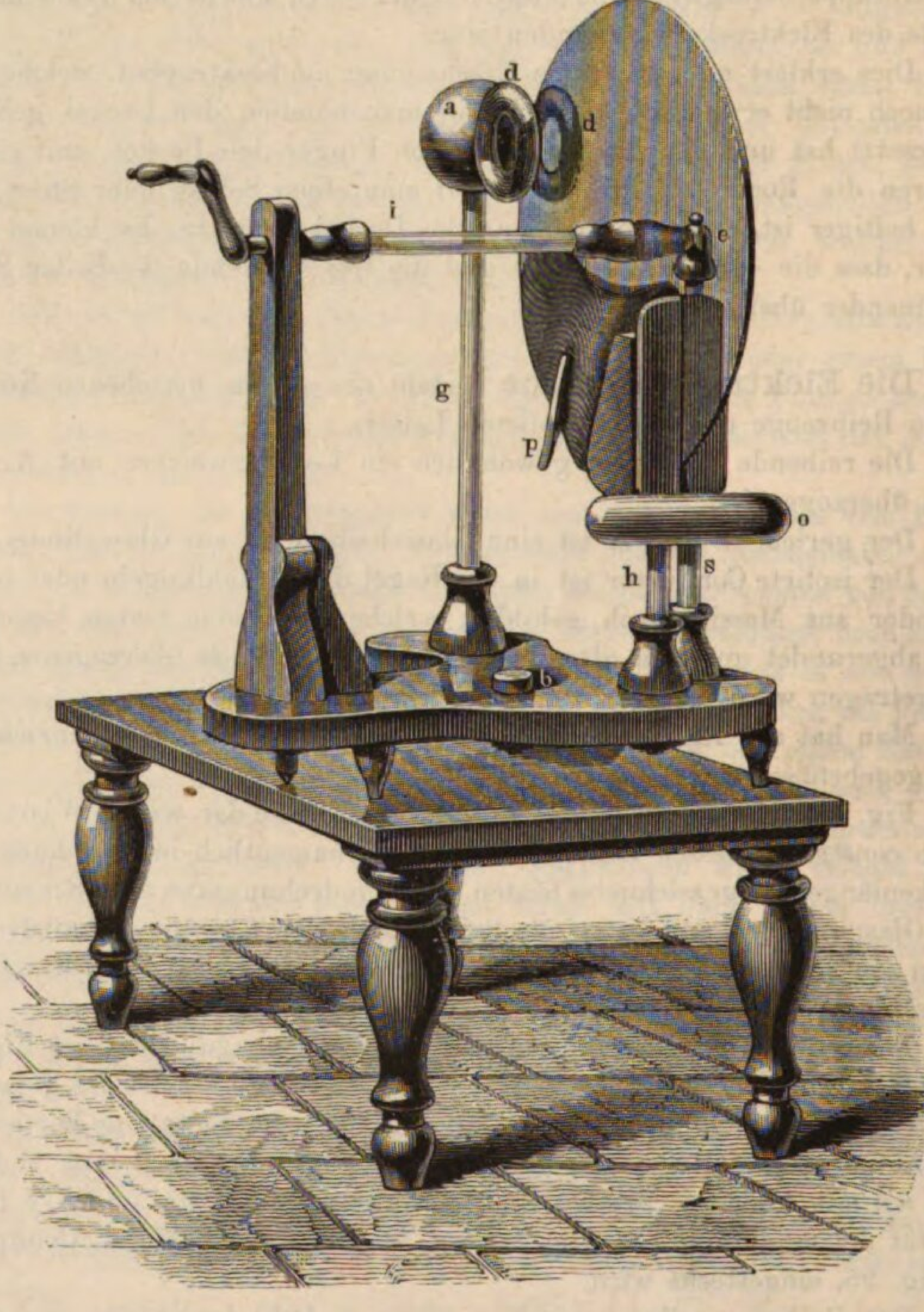
Fig. 95 (a. f. S.) stellt eine Scheibenmaschine dar, wie sie Winter in Wien construirt, dessen Elektrisirmaschinen, namentlich in Beziehung auf Funkenlänge, Ausgezeichnetes leisten. Die Umdrehungsaxe *i* der Scheibe ist von Glas; sie wird auf der einen Seite durch den Glasfuss *s*, auf der anderen durch eine hölzerne Stütze getragen. Das Reibzeug wird durch die Glassäule *h* getragen.

Das Gestell, welches zur Aufnahme des Reibzeuges dient, ist Fig 96 (a. S. 103) für sich allein dargestellt. Auf den Glasfuss *h* ist das gabelförmige Holzstück *n* aufgekittet, in welchem auf jeder Seite eine Vertiefung zur Aufnahme des Reibzeuges eingeschnitten ist. Ein an diesem Holzgestell *nn* angebrachter Streifen von Messingblech führt die negative Elektricität des Reibzeuges zu dem Loch *r*, in welches der kleine Conductor *o*, Fig. 95, eingesteckt wird.

Das Reibzeug selbst ist in Fig. 97 (a. S. 103) dargestellt, und zwar von der Rückseite; *p* ist ein Schieber von Holz, welcher in dem Reibzeuggestell eingeschoben wird; *q* ist eine Leiste, welche das Durchschlüpfen des Reibzeuges verhindert. Auf der Vorderseite des Brettes *p* ist das mit ihm gleichgestaltete amalgamirte Leder befestigt. An dieses Leder setzt sich ein Lappen von Wachstaffet an, welcher nochmals mit Schellack gefirnisst an der Glasscheibe anliegt und das Entweichen der Elek-

tricität auf dem Wege vom Reibzeuge zum Saugapparate *d*, Fig. 95, verhindert. Die auf der Rückseite des Brettes *p* angebrachten Stahlfedern dienen dazu, das Reibzeug gehörig an die Glasscheibe anzudrücken.

Fig. 95.



Ein solches Reibzeug, wie das in Fig. 97 dargestellte, wird auf jeder Seite der Glasscheibe angebracht, und zwar ist in unserer Figur dasjenige dargestellt, welches auf der rechten Seite des Trägers Fig. 96 eingeschoben wird.

Der Conductor *a*, Fig. 95, ist von Messingblech verfertigt. Damit die auf dem Conductor *a* angehäufte Elektricität möglichst wenig an der

Glassäule g abströmen könne, hat derselbe eine schon von **van Marum** bei der grossen Harlemer Maschine mit Erfolg angewandte Form, die

Fig. 96.



Fig. 97.

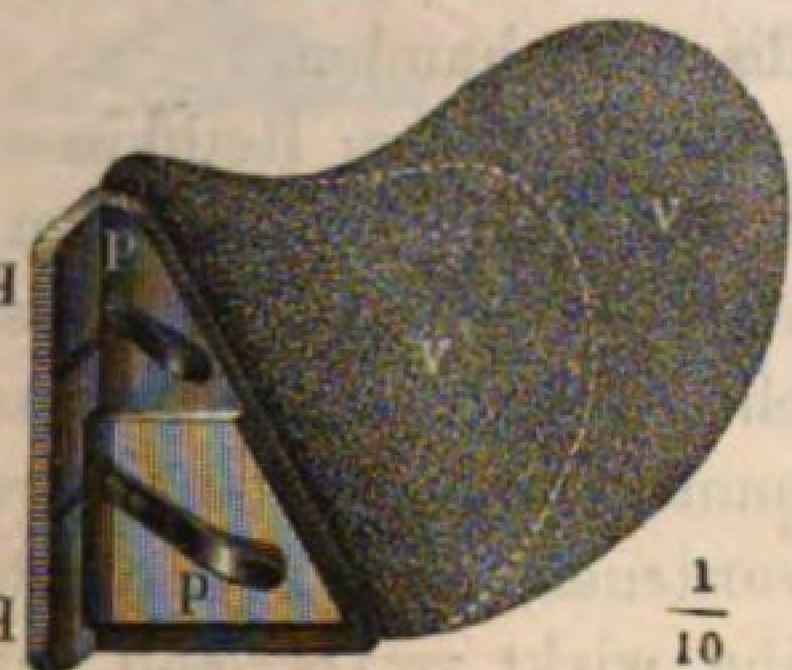


Fig. 99.

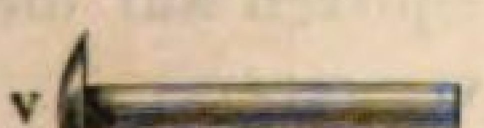


Fig. 98.



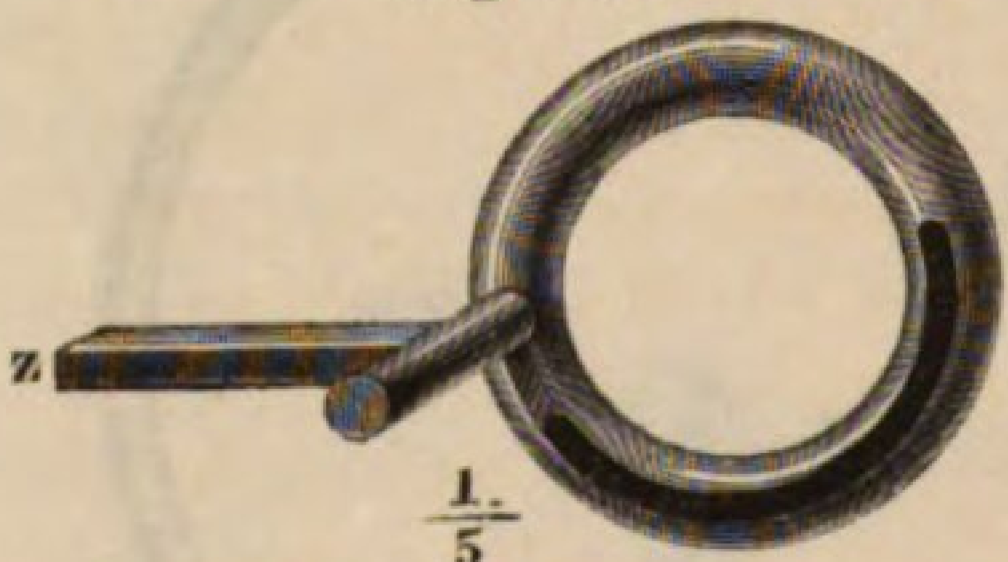
man Fig. 98 deutlicher sieht, welche den Conductor a im Durchschnitt sammt einem aufgesteckten Holzring zeigt. Die Kugel a ist nämlich unten eingezogen.

In den Conductor a sind mehrere Blechhülsen eingelöthet; die obere dient, um den Holzring aufzustecken; von der linken Seite her wird bei grösseren Maschinen ein Stäbchen eingeschoben, welches eine Kugel von 2 bis 3 Zoll Durchmesser trägt, während bei kleineren Maschinen eine Blechhülse eingesteckt wird, welche, wie Fig. 99 in doppeltem Maassstabe zeigt, mit einem schwach gekrümmten runden Stück von Messingblech endigt. Wenn man kräftige Funken aus dem Conductor ziehen will, so wird das Röhrchen, Fig. 99, so weit eingeschoben, dass das Blech v dicht an dem Conductor anliegt, und nur eine unbedeutende Hervorragung an demselben bildet; will man aber irgend einen Gegenstand an den Conductor anhängen oder elektrische Büschel aus demselben ziehen, so wird das

Röhrchen, Fig. 99, mit dem Blech *v* mehr oder weniger aus dem Conductor hervorgezogen. — Auf der rechten Seite des Conductors, Fig. 98, wird die Saugvorrichtung eingesteckt.

Diese Saugvorrichtung hat bei den Winter'schen Maschinen eine ganz eigenthümliche, sehr zweckmässige Einrichtung; sie besteht nämlich aus zwei Ringen von polirtem Holze, welche an der Innenseite, da wo die Scheibe sich zwischen ihnen durchbewegt, mit einer Rinne versehen sind, wie man dies Fig. 100 sieht, wo der vordere Ring weggelassen ist, damit man die Rinne des hinteren sehen kann.

Fig. 100.



Der Boden dieser Rinne ist mit Stanniol beklebt, aus welchem eine Reihe feiner Nadelspitzen gegen die Scheibe gerichtet hervorragen. Das metallische Stäbchen *z*, Fig. 100, mittelst dessen die Saugvorrichtung an den Conductor angesteckt wird, ist ebenso wie die Hülse, in die es passt, eckig, damit eine Drehung um seine Axe nicht möglich ist. Die Rinne ist durch ein Stanniolstreifchen mit *z*, also auch mit dem Conductor *a* metallisch verbunden.

Beim Drehen wird nun die Glasscheibe zwischen dem Reibkissen + elektrisch. Damit sich nun auf dem Wege von dem Reibzeuge zu den Saugern die Elektricität nicht von der Scheibe verliert, sind die bereits erwähnten Lappen von Wachstaffet angebracht, welche, wie wir gesehen haben, am Reibzeuge befestigt sind. So kommen denn die beim Drehen zwischen den Reibkissen + elektrisch gewordenen Stellen der Scheibe zwischen die Holzringe, die + *E* der Scheibe wirkt vertheilend auf die Spitzen, die + *E* wird abgestossen und auf den Conductor *a* getrieben, während die — *E* aus dem Conductor durch die Spitzen auf die Scheibe strömt, um sie wieder in natürlichen Zustand zu versetzen.

So wird denn der Conductor *a* mit positiver Elektricität geladen.

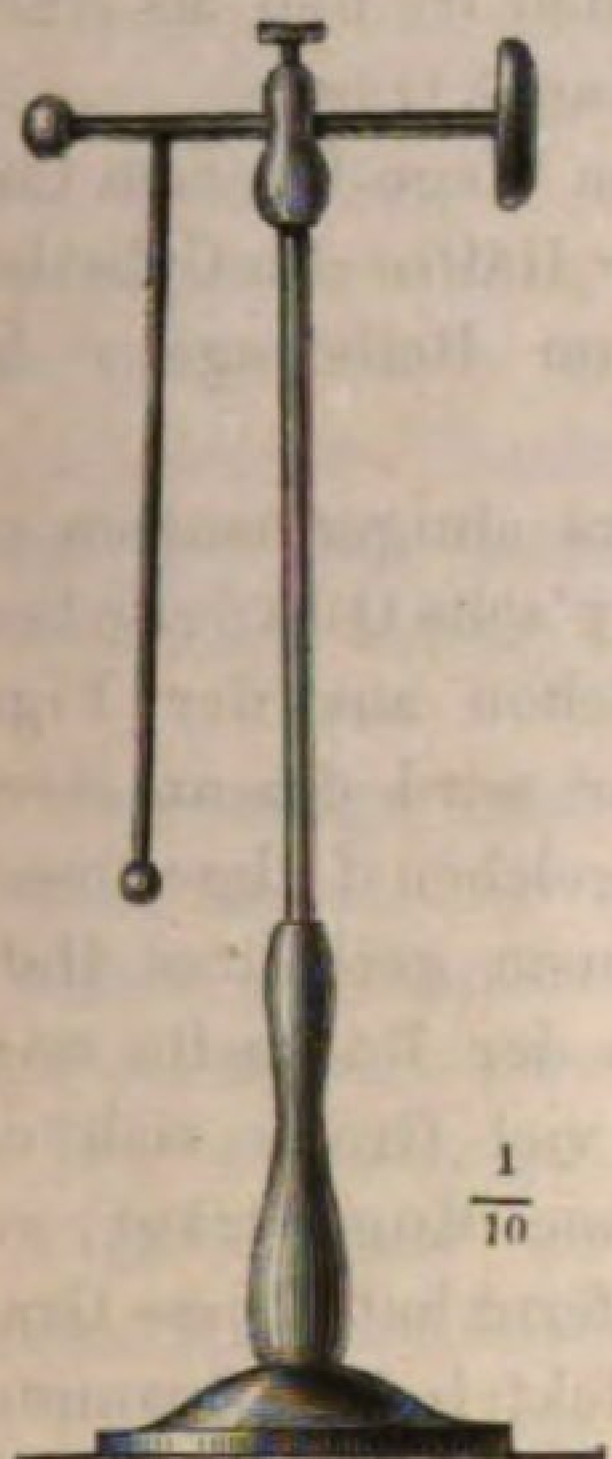
Damit fortwährend eine starke Elektricitätsentwickelung möglich ist, muss die auf dem Reibzeug entwickelte — *E* möglichst vollständig abgeleitet werden, das Reibzeug muss deshalb mit dem Boden oder noch besser mit einer grossen Metallmasse (wo es möglich ist mit Gasleitungsröhren) in gut leitender Verbindung stehen.

Will man mit — *E* experimentiren, so wird der Conductor *a* mit dem Boden leitend verbunden; die negative Elektricität sammelt sich alsdann auf dem Conductor *o* des Reibzeugs. Dadurch, dass die Ringe *d* von Holz sind, wird eine bedeutende Anhäufung von positiver Elektricität an dieser Stelle und somit ein Ueberströmen derselben zum Reibzeug möglichst verhindert und eine stärkere Ladung des Conductors *a* ermöglicht.

Die Länge der Funken, welche man aus dem Conductor *a* ziehen kann, wird durch das Aufsetzen des in Fig. 98 dargestellten Holzringes bedeutend vermehrt. Aussen ist er polirt; den Kern des Stabes und des Ringes aber bildet ein Eisendraht. — Eine Winter'sche

Maschine, deren Scheibe 40 Zoll Durchmesser hat, giebt 24 Zoll lange, eine solche mit 18zölliger Scheibe giebt in gutem Zustande 10 Zoll lange Funken. Bei der nach seinem System umgebauten Maschine der polytechnischen Schule zu Wien hat Winter die Funkenlänge auf 40 Zoll gebracht.

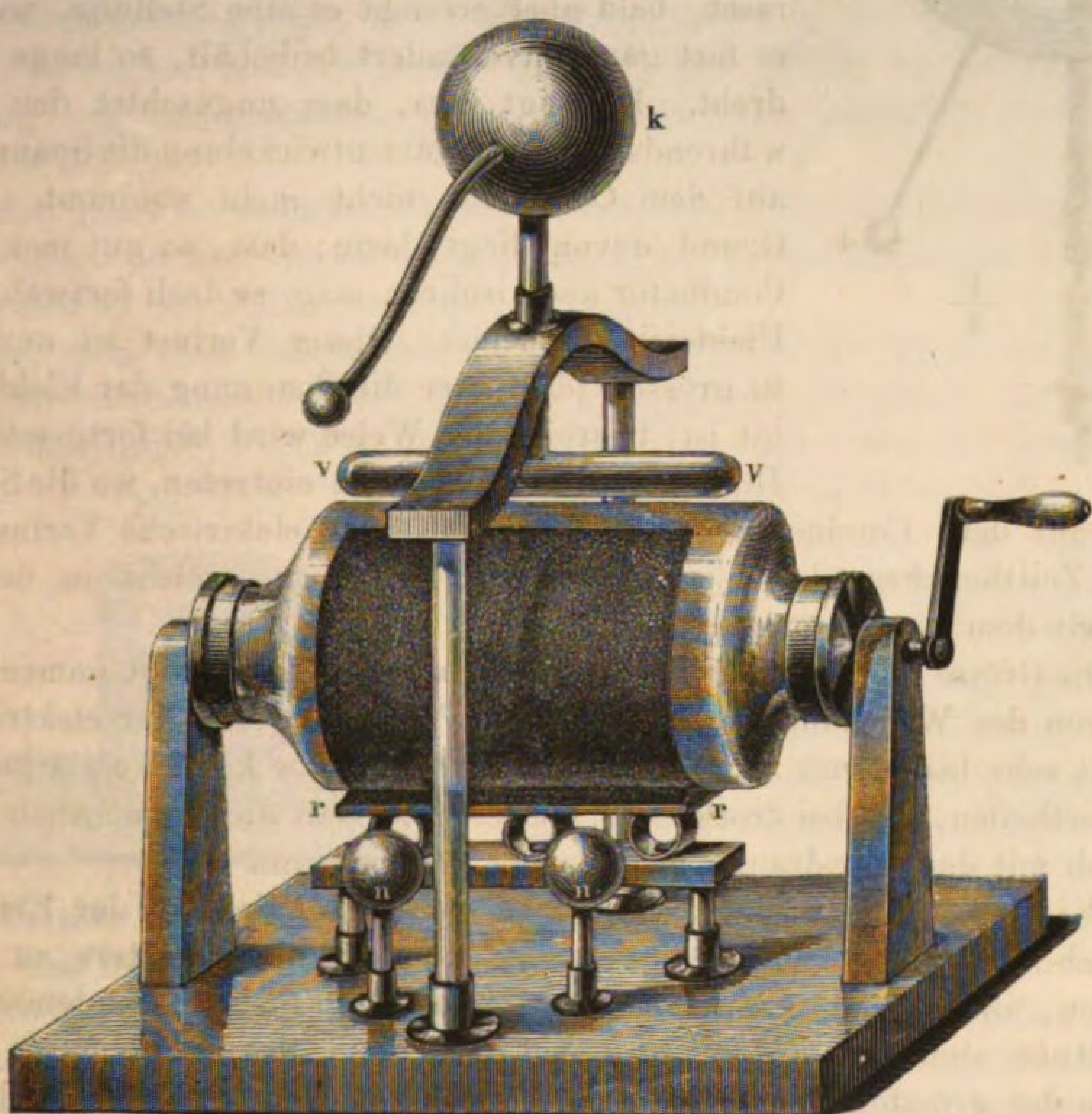
Fig. 101.



Um grosse Funken aus dem Conductor *a* zu ziehen, ist der Funkenzieher, Fig. 101, bequem, welcher auf einem Glasfusse befestigt ist und mit dem Boden oder noch besser mit dem Reibzeuge in leitende Verbindung gesetzt wird.

Fig. 102 stellt eine Cylindermaschine dar, wie sie Grüel in Berlin construirt, dessen Elektrisirmaschinen sich gleichfalls durch kräftige Wirkung auszeichnen. Hier ist der geriebene Körper ein grosser Glascylinder, welcher um eine horizontale Axe drehbar ist und in seiner ganzen Länge durch ein einziges Kissen *rr* gerieben wird. Dieses Kissen kann mit den kleinen durch Glasfüsse getragenen Conductoren *n* in leitende Verbindung

Fig. 102.

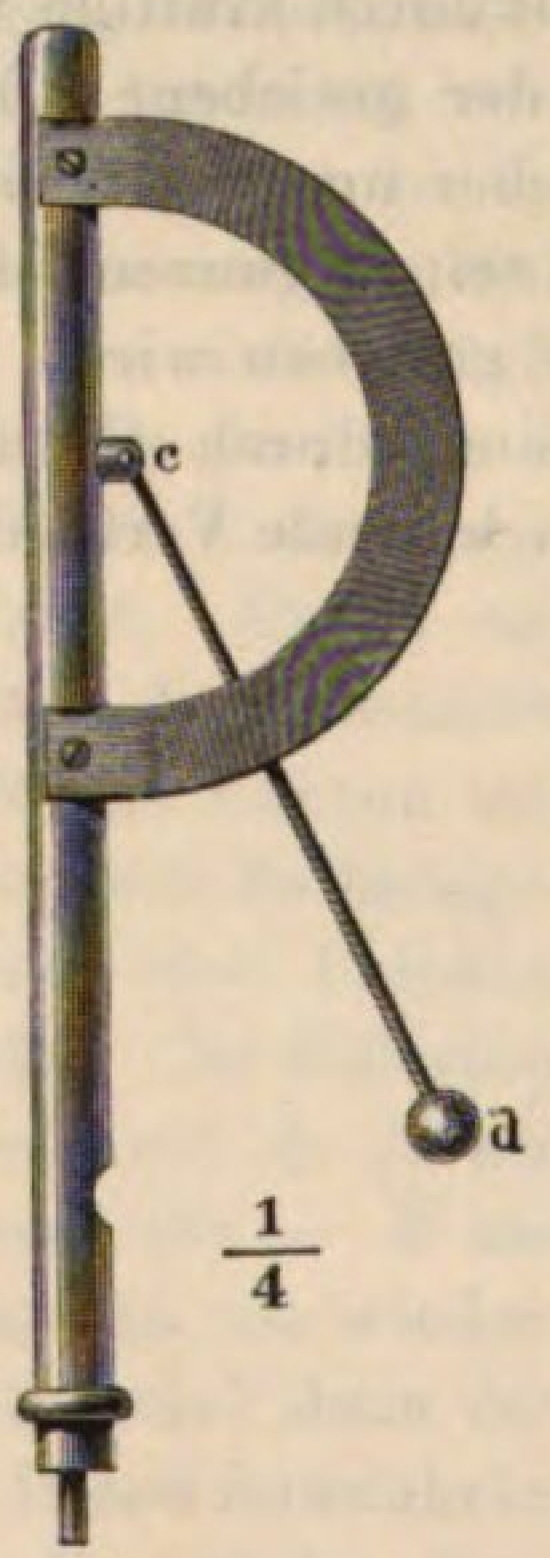


gesetzt werden. Der Conductor besteht aus dem mit Saugspitzen besetzten Messingcylinder *vv*, welcher dem Reibzeuge diametral gegenübersteht, und der Hohlkugel *k*, welche mit *vv* leitend verbunden ist und an einem etwas gebogenen Messingrohre noch eine kleinere Kugel trägt.

Damit das am Reibzeuge geriebene Glas auf dem Wege bis zum Conductor *v* seine Elektricität nicht verliert, ist die eine Hälfte des Cylinders mit einem Stücke Wachstaffet bedeckt, welches am Reibzeuge *r* befestigt ist.

Um über den Grad der Ladung des Conductors einigermaassen ein Urtheil zu haben, setzt man auf denselben das Henley'sche Quadrantenelektrometer, Fig. 103, dessen Einrichtung schon aus der Figur klar wird. Je stärker die Ladung wird, desto mehr wird das an einem Strohhalm steckende Korkkügelchen *d* abgestossen, desto mehr steigt es. An einem getheilten Halbkreise, den unsere Figur von der Rückseite zeigt, kann man sehen, um wie viel Grade sich der Strohhalm, welcher die kleine Kugel trägt, von seiner Gleichgewichtslage entfernt hat. Diese Gradzahl ist jedoch nicht der elektrischen Spannung auf dem Conductor proportional. Wenn man die Maschine zu drehen anfängt, steigt das Kügelchen rasch, bald aber erreicht es eine Stellung, welche es fast ganz unverändert beibehält, so lange man dreht. Es zeigt dies, dass ungeachtet der fortwährenden Elektricitätsentwickelung die Spannung auf dem Conductor nicht mehr zunimmt. Der Grund davon liegt darin, dass, so gut man den Conductor auch isoliren mag, er doch fortwährend Elektricität verliert. Dieser Verlust ist nun um so grösser, je grösser die Spannung der Elektricität ist; begreiflicher Weise wird bei fortgesetztem Drehen bald ein Zeitpunkt eintreten, wo die Spannung auf dem Conductor so gross ist, dass der elektrische Verlust in jedem Zeittheilchen gleich ist der Elektricitätsmenge, welche in derselben Zeit dem Conductor zugeführt wird.

Fig. 103.



$\frac{1}{4}$

Die Grösse der möglichen Ladung eines Conductors hängt namentlich auch von der Witterung ab. Bei feuchter Witterung, wo der elektrische Verlust sehr bedeutend ist, kann man dem Conductor keine so starke Ladung ertheilen, wie bei trockenem Wetter, wie man dies namentlich sehr deutlich mit dem Quadrantenelektrometer zeigen kann.

Winter ist auf die gute Idee gekommen, die Wirkung der Elektrisirmaschine direct mit dem Stande eines Darmsaitenhygrometers zu vergleichen, und hat gefunden, dass die Funkenlänge nahezu in demselben Verhältniss abnimmt, in welchem sich der Zeiger des Hygrometers dem Punkte der grössten Feuchtigkeit nähert. Er hat sich zur Vergleichung

mit den Wirkungen der Elektrisirmaschine ein besonderes Hygrometer construirt, welches er Hygroelektrometer nennt. Der Punkt der grössten Feuchtigkeit ist mit 0, der der grössten Trockenheit ist mit 16 bezeichnet und der Zwischenraum des Gradbogens in 16 gleiche Theile getheilt. Steht der Hygrometerzeiger auf 16, so hat man die grösste Funkenlänge zu erwarten, welche die Maschine geben kann; steht aber der Zeiger auf 8, auf 4, so werden die Funken ungefähr nur $^1/_2$, $^1/_4$ so lang sein, als sie die Maschine unter den günstigsten Umtsänden zu geben im Stande ist. Man braucht nur den Stand des Hygrometers zu beobachten, um zu wissen, welche Funkenlänge man von der Maschine zu erwarten hat.

Versuche mit der Elektrisirmaschine. Mit der Elektrisirmaschine lassen sich zahlreiche Versuche anstellen, welche dazu dienen, die bisher besprochenen Gesetze der Elektricität zu erläutern. Wir wollen einige derselben näher betrachten.

Der Korkkugeltanz, welcher eigentlich nur eine bessere Form des Fig. 79 Seite 81 dargestellten Versuches ist, lässt sich am einfachsten dadurch hervorbringen, dass man den Deckel des Elektrophors, Fig. 93 Seite 98, an seinen Schnüren so aufhängt, dass seine untere Fläche 2 bis 3 Zoll hoch über dem mit Stanniol beklebten Brette *cc* schwebt. Werden nun an die Stelle des entfernten Harzkuchens Hollundermarkkügelchen gelegt, so tanzen diese zwischen den beiden metallischen Platten hin und her, sobald man die obere Platte in leitende Verbindung mit dem Conductor einer in Thätigkeit gesetzten Elektrisirmaschine bringt.

Man kann die leichten Kügelchen durch gemalte und ausgeschnittene Papierfigürchen oder durch leichte Püppchen von Hollundermark ersetzen und erhält so den elektrischen Puppentanz.

Bei dem eben beschriebenen Versuche fahren die Kügelchen leicht nach den Seiten auseinander; um dies zu verhindern, schliesst man sie in einen Glascylinder, Fig. 104, ein, den man oben und unten mit einem Deckel von Pappe versieht, welcher mit Stanniol überzogen ist. Der obere Deckel wird mit dem Conductor der Elektrisirmaschine, der untere mit dem Boden in leitende Verbindung gebracht.

Fig. 104.



Die elektrischen Anziehungs- und Abstossungserscheinungen hat man zu zahllosen Spielereien benutzt, wie das elektrische Glockenspiel, die elektrische Spinne u. s. w., die sich namentlich in älteren Cabinetten finden und deren Beschreibung hier überflüssig ist.

Die gegenseitige Abstossung von Körpern, welche mit gleicher Elektricität geladen sind, kann man sehr schön mit Hülfe des Papierbüschels, Fig. 105 (a. f. S.), zeigen, den man mittelst des Korkes *k* auf den Conductor der

Maschine aufsteckt. Auf einem leitenden Stäbchen ist oben ein leitendes Scheibchen befestigt, von dessen Rand eine Reihe 2 bis 3 Linien breiter, 1 bis $1\frac{1}{2}$ Fuss langer Streifchen von dünnem Papier herabhängen. Sobald die Maschine gedreht wird, gehen die Streifchen wie ein Schirm auseinander.

Die Haare auf dem Kopfe zeigen eine ähnliche Erscheinung, wenn man sich auf den Isolirschemel, d. h. auf ein durch Glasfüsse getragenes Brett, Fig. 106, stellt und den Conductor der Maschine mit der Hand berührt. Sobald die Maschine gedreht wird, sträuben sich die Haare, sie fallen zusammen, so oft man aus dem Conductor oder dem menschlichen Körper selbst einen Funken zieht.

Wenn man Gummiüberschuhe an hat, ist man eben so vollständig isolirt, als ob man auf dem Isolirschemel stände.

Der elektrische Funke kann leicht brennbare Körper, z. B eine eben ausgelöschte Kerze, entzünden. Der schwächste Funken schon, welcher durch Knallgas schlägt, reicht hin, eine Explosion zu bewirken. Um die Entzündung des Knallgases zu zeigen, wendet man die sogenannte elektrische Pistole an, welche Fig. 107 in möglichst einfacher Form dar-

Fig. 105.



Fig. 106.

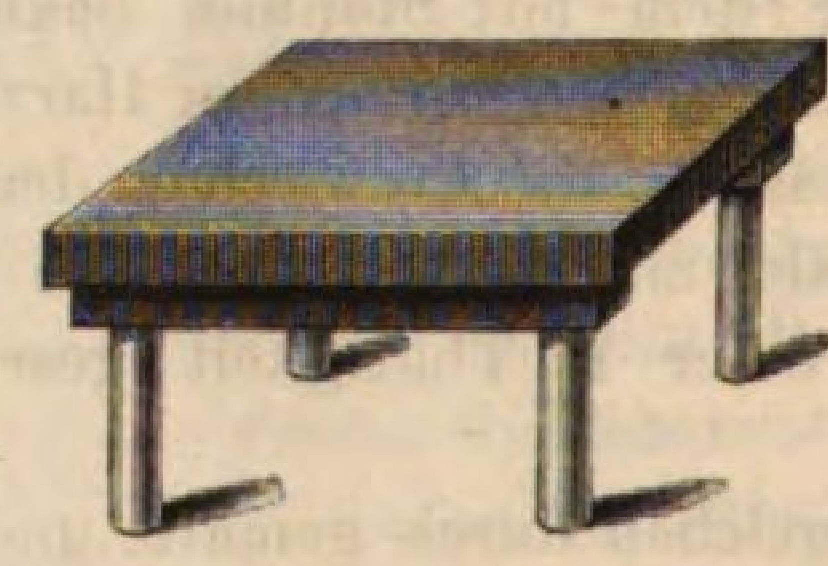


Fig. 108.

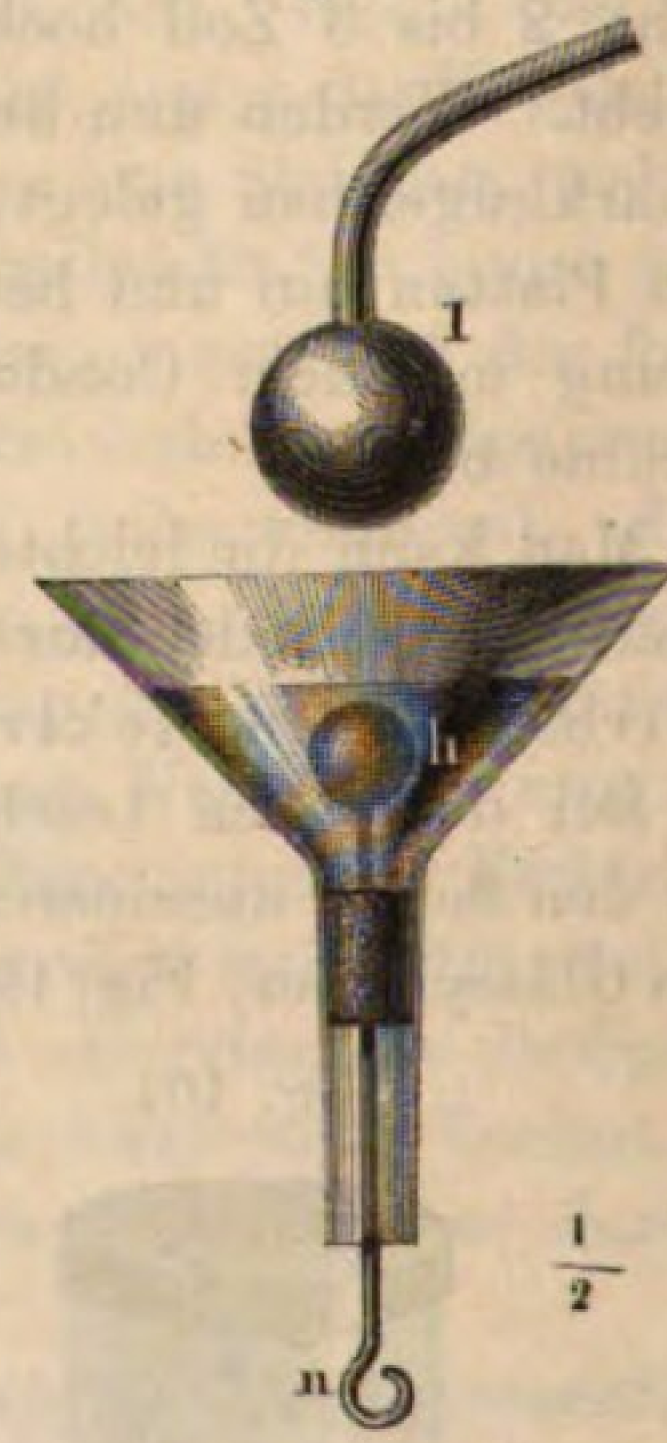
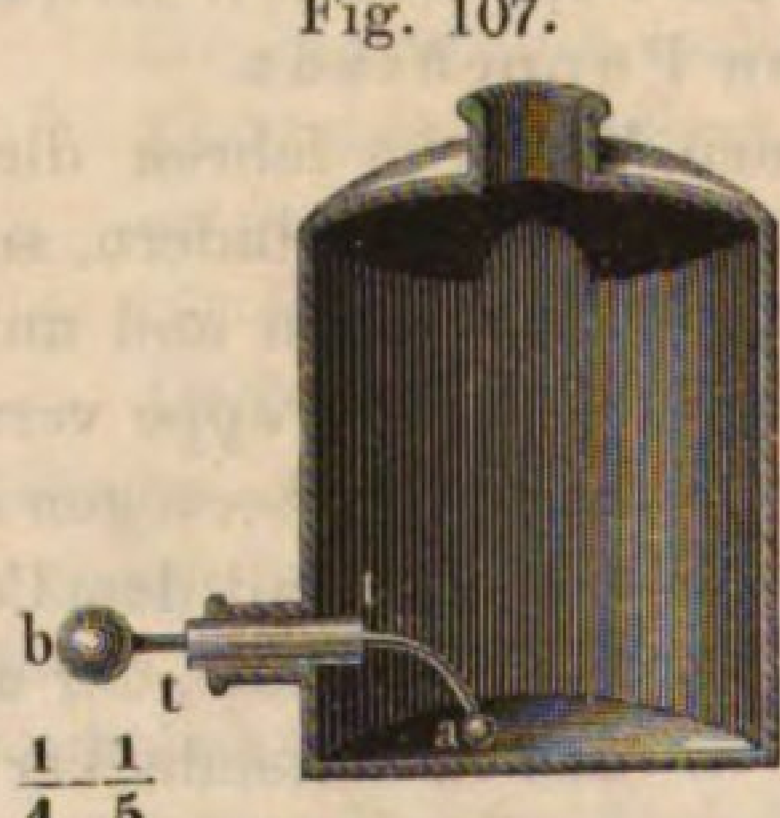


Fig. 107.



gestellt ist. Ein kleines Gefäss von Blech hat ausser der oberen grösseren Oeffnung noch eine zweite, in welche das Glasröhrchen *tt* eingekittet ist; in dieses Glasröhrchen ist ferner ein Messingdraht eingekittet, welcher einerseits mit der Kugel *b*, andererseits mit der kleinen Kugel *a* endet. Letztere Kugel steht 1 bis 2 Millimeter weit von der Blechwand des Gefässes ab.

Lässt man nun, während das Gefäss ableitend berührt ist, einen elektrischen Funken auf die Kugel *b* schlagen, so springt ein solcher auch

zwischen der Kugel *a* und der Gefässwand über, wodurch das Knallgas, mit welchem man vorher das Gefäss gefüllt hatte, entzündet, und der die grössere Oeffnung des Gefässes verschliessende Kork mit lautem Knalle fortgeschleudert wird.

Die Füllung mit Knallgas geschieht dadurch, dass man einige Zeit Wasserstoffgas durch die grosse Oeffnung in das Gefäss einströmen lässt. Es mischt sich dieses dann mit dem Sauerstoff der schon im Apparate enthaltenen atmosphärischen Luft zu Knallgas.

Um Aether zu entzünden, sind schon kräftigere Funken nöthig. Man kann diesen Versuch etwa in folgender Weise anstellen: Unter die Kugel *l*, Fig. 108, welche auf irgend eine Weise in leitende Verbindung mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine steht (man kann dazu ohne weiteres die kleine Kugel verwenden, welche mit dem Conductor *k* der Grüel'schen Maschine, Fig. 102, in Verbindung steht, oder man kann bei der Winter'schen das Röhrchen, Fig. 99, aus dem Conductor ausziehen, und statt dessen ein ungefähr 4 Zoll langes Messingstäbchen einstecken, welches mit einer Kugel endigt), wird ein Glastrichter in passendem Stativ aufgestellt, dessen Rohr mittelst eines Korkes verschlossen ist. Durch diesen Kork geht ein Messingdraht hindurch, welcher oben die kleinere Messingkugel *h* trägt, unten aber mit einem Haken endigt. In den Trichter wird zunächst Wasser und darauf so viel Aether gegossen, dass die Kugel *h* eben damit bedeckt ist. Wird nun in den Haken *n* eine ableitende Metallkette eingehängt, so schlagen zwischen *l* und *h* sogleich Funken über, sobald man die Maschine dreht, und diese entzünden dann den Aetherdampf.

Will man diesen Versuch mit Weingeist anstellen, so muss man denselben zuvor erwärmen.

Wir haben gesehen, dass ein in der Nähe des Conductors der Elektrisirmaschine aufgestellter, mit dem Boden in Verbindung stehender Leiter durch Vertheilung elektrisch und mit gebundener Elektricität geladen wird. Sobald nun der Conductor der Maschine durch Ausziehen eines Funkens entladen wird, muss auch eine plötzliche Entladung des vertheilten Leiters erfolgen, welche man mit dem Namen des elektrischen Rückschlags bezeichnet und welche daher rührt, dass die bis dahin gebunden gewesene Elektricität nun rasch in den Boden zurückströmt.

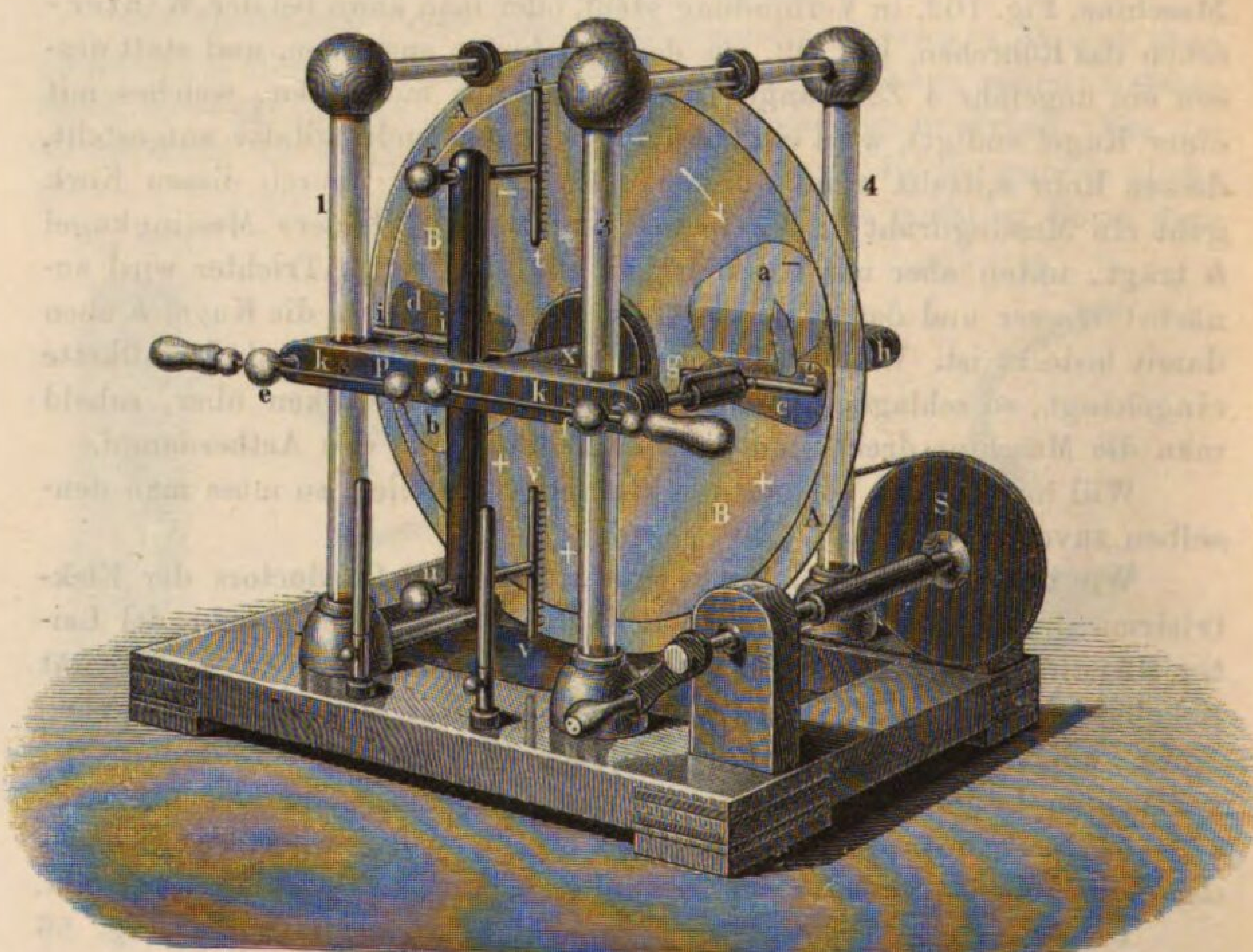
Dieser Rückschlag lässt sich dem Auge mit Hülfe der in Fig. 86 Seite 90 dargestellten Vorrichtung sichtbar machen. Die Pendel bei *b* nämlich, welche stark divergiren, wenn *ab* zum Boden abgeleitet ist und der Conductor der gedrehten Maschine in der Nähe steht, werden jedesmal rasch zusammenfallen, so oft man einen Funken aus dem Conductor zieht. Ein ähnliches Zusammenzucken beobachtet man auch an den Papierstreifen des Apparates, Fig. 105, welche in der Nähe des geladenen Conductors stark auseinandergehen.

Galvani beobachtete ähnliche Zuckungen durch den elektrischen Rückschlag an Froschschenkeln, welche in der Nähe des Conductors der Elektrisirmaschine aufgehängt waren, und diese Beobachtung bildet

den Ausgangspunkt für einen neuen Zweig der Elektricitätslehre, den Galvanismus, welcher den Gegenstand des folgenden Capitels bildet.

42 **Die Influenzelektrisirmaschine.** Während bei der gewöhnlichen Elektrisirmaschine fortwährend durch Reibung neue Elektricität entwickelt wird, suchten Töpler in Riga und Holtz in Berlin Apparate zu construiren (Pogg. Annal. CXXV, CXXVI und CXXVII), welche eine continuirliche Elektricitätsentwickelung durch die vertheilende Wirkung eines einmal elektrisirten Körpers liefern, bei welchen also gleichsam der in getrennten Acten stattfindende Vorgang des Elektrophors in einen continuirlichen verwandelt wird, wobei aber ausserdem noch der Unterschied stattfindet, dass bei den neuen Apparaten, welche am zweckmäs-

Fig. 109.



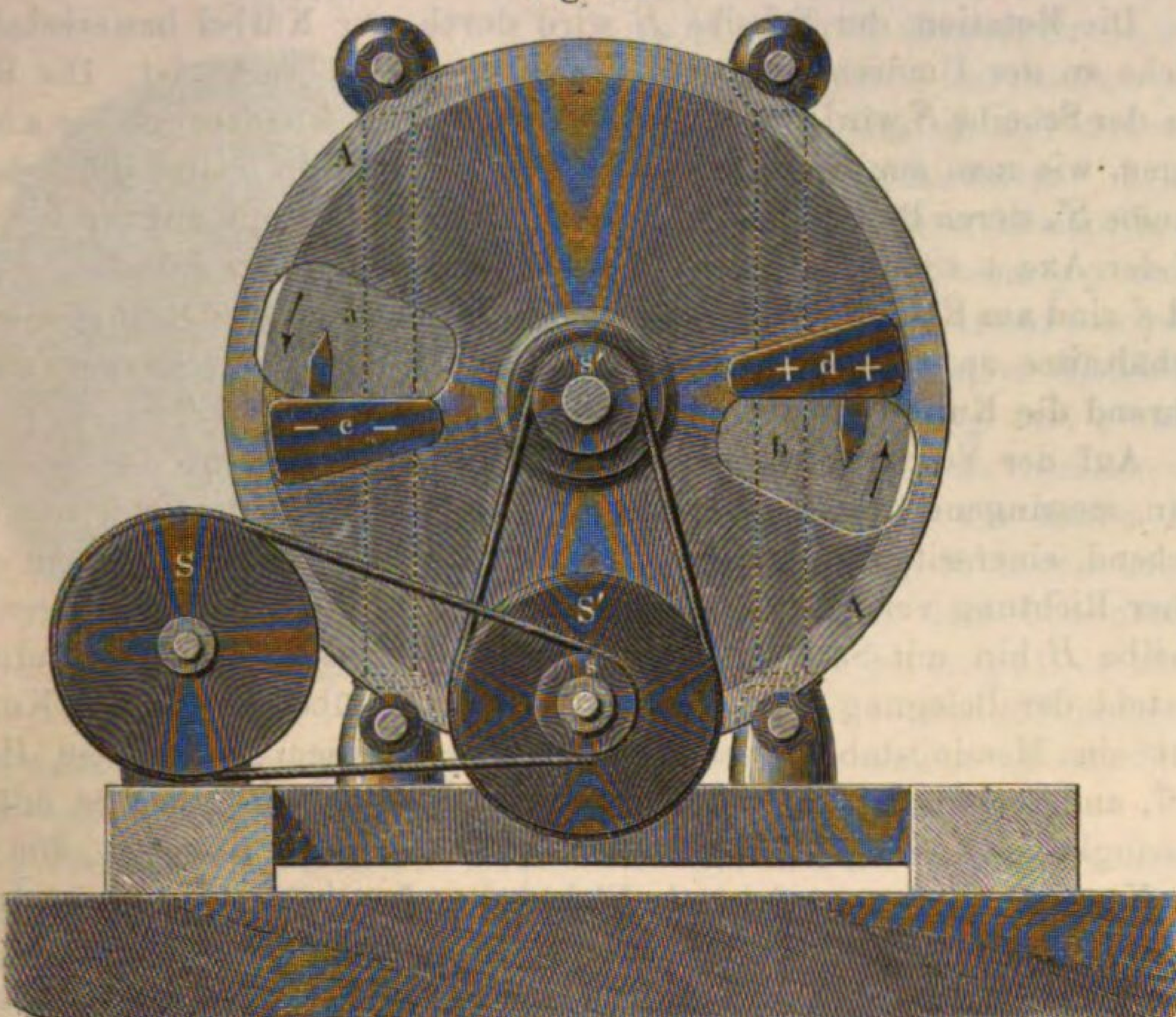
sigsten als Influenzelektrisirmaschinen bezeichnet werden, gerade die vom vertheilenden Körper abgestossene Elektricität zur Wirkung kommt, während beim Elektrophor bekanntlich das Umgekehrte stattfindet.

Obgleich die Apparate von Töpler und Holtz auf dieselben Principien gegründet sind, so ist in ihnen dasselbe doch in verschiedenen Formen zur Anwendung gebracht worden, wie sich kaum anders erwarten lässt, da beide ganz unabhängig von einander arbeiteten. Wir beschränken uns hier mit der Besprechung der Holtz'schen Maschine, Fig. 109, wie dieselbe von Borchardt in Berlin construirt wird.

Auf dem hölzernen Fussgestell erheben sich vier Glassäulen 1, 2, 3 und 4 (die Glassäule 2 ist in unserer Figur verdeckt), von denen einerseits 1 und 2, andererseits 3 und 4 oben und unten durch horizontale Glasstäbe verbunden sind, die in den oberen und unteren Holzfassungen der verticalen Glassäulen stecken. Jeder dieser horizontalen Glasstäbe trägt ungefähr in seiner Mitte einen Ring von Kamm-Masse, welcher mittelst eines Schraubengewindes etwas verstellbar ist. Durch diese vier kleinen Ringe, von denen in unserer Figur nur die beiden oberen deutlich zu sehen sind, wird eine dünne Glasscheibe *A* in verticaler Stellung festgehalten.

In der Scheibe *A*. welche in Fig. 110 von der hinteren Seite dargestellt ist, sind diametral gegenüberstehend zwei Ausschnitte *a* und *b*

Fig. 110.



angebracht; ausserdem aber ist aus der Mitte der Scheibe *A* ein kreisförmiges Stück ausgschnitten, dessen Durchmesser etwas grösser ist als der Durchmesser der Fassung der sogleich näher zu besprechenden Scheibe *B*.

Neben jeder der beiden Oeffnungen *a* und *b* (und zwar auf der für Fig. 109 hinteren Seite der Scheibe *A*) ist eine Belegung von Papier aufgeklebt, und zwar die Belegung *c* neben der Oeffnung *a* und *d* neben *b*. Von jeder diesen Papierbelegungen aus ragt ein zugespitzter Streifen von Kartenpapier in den benachbarten Ausschnitt hinein. Die Scheibe *A* sammt den Belegungen und Kartenspitzen sind mit Schellackfirniss überzogen.

Dicht vor der feststehenden Scheibe A, Fig. 110, befindet sich die aus dünnem Spiegelglas verfertigte, gleichfalls mit Schellackfirniss überzogene Scheibe B, deren Durchmesser etwas kleiner ist als der von A, und welche in ihrer Ebene in rasche Rotation versetzt werden kann. Die Rotationsaxe x ist aus Kamm-Masse verfertigt und an jedem Ende mit einem stählernen Zapfen versehen, von denen der vordere in einem Lager läuft, welches an dem aus Kamm-Masse gebildeten, zwischen den Glassäulen 1 und 3 befestigten Querbalken k angebracht ist, während sich das Lager für den hinteren Zapfen in gleicher Weise an einem von den Glassäulen 2 und 4 getragenen Querbalken h befindet.

Die Scheibe B wird zwischen zwei dicken Platten von Kamm-Masse gehalten, von denen die eine mit der Axe x fest zusammenhängt, während die andere abgeschraubt werden kann.

Die Rotation der Scheibe B wird durch eine Kurbel bewerkstelligt, welche an der Umdrehungsaxe der Scheibe S angebracht ist. Die Rotation der Scheibe S wird durch eine Schnur auf die kleinere Scheibe s übertragen, wie man aus Fig. 110 sieht. Auf der Axe von s sitzt die grössere Scheibe S', deren Bewegung wiederum durch eine Schnur auf die kleinere auf der Axe x sitzende Scheibe s' übertragen wird. Die Scheiben S, s, S' und s' sind aus Kamm-Masse verfertigt; ihre Durchmesser stehen in solchem Verhältnisse zu einander, dass die Scheibe B fünf Umdrehungen macht, während die Kurbel einmal umgedreht wird.

Auf der Vorderseite der rotirenden Scheibe B steht der Belegung c ein messingener Conductor gegenüber, welcher, in dem Querbalken k steckend, einerseits mit der Messingkugel f, andererseits mit dem in dreifacher Richtung verstellbaren Messingarme gg endigt, welcher gegen die Scheibe B hin mit Saugspitzen besetzt ist. Ein eben solcher Conductor ii steht der Belegung d in gleicher Weise gegenüber. Durch die Kugel f geht ein Messingstab, welcher einerseits mit einem isolirenden Handgriff, andererseits mit der Messingkugel n endigt. Ein gleicher mit der Messingkugel p endigender Messingstab steckt in der Kugel e. Die beiden Kugeln p und n, welche als Elektroden fungiren, können nach Belieben mehr von einander entfernt oder genähert werden.

Während e und ii in unmittelbarer metallischer Verbindung stehen, ist zwischen f und gg ein isolirendes Stück eingesetzt, und für gewöhnlich die metallische Verbindung zwischen f und g durch einen aufgesetzten Metallbogen vermittelt, welcher in später zu besprechenden Fällen weggenommen wird.

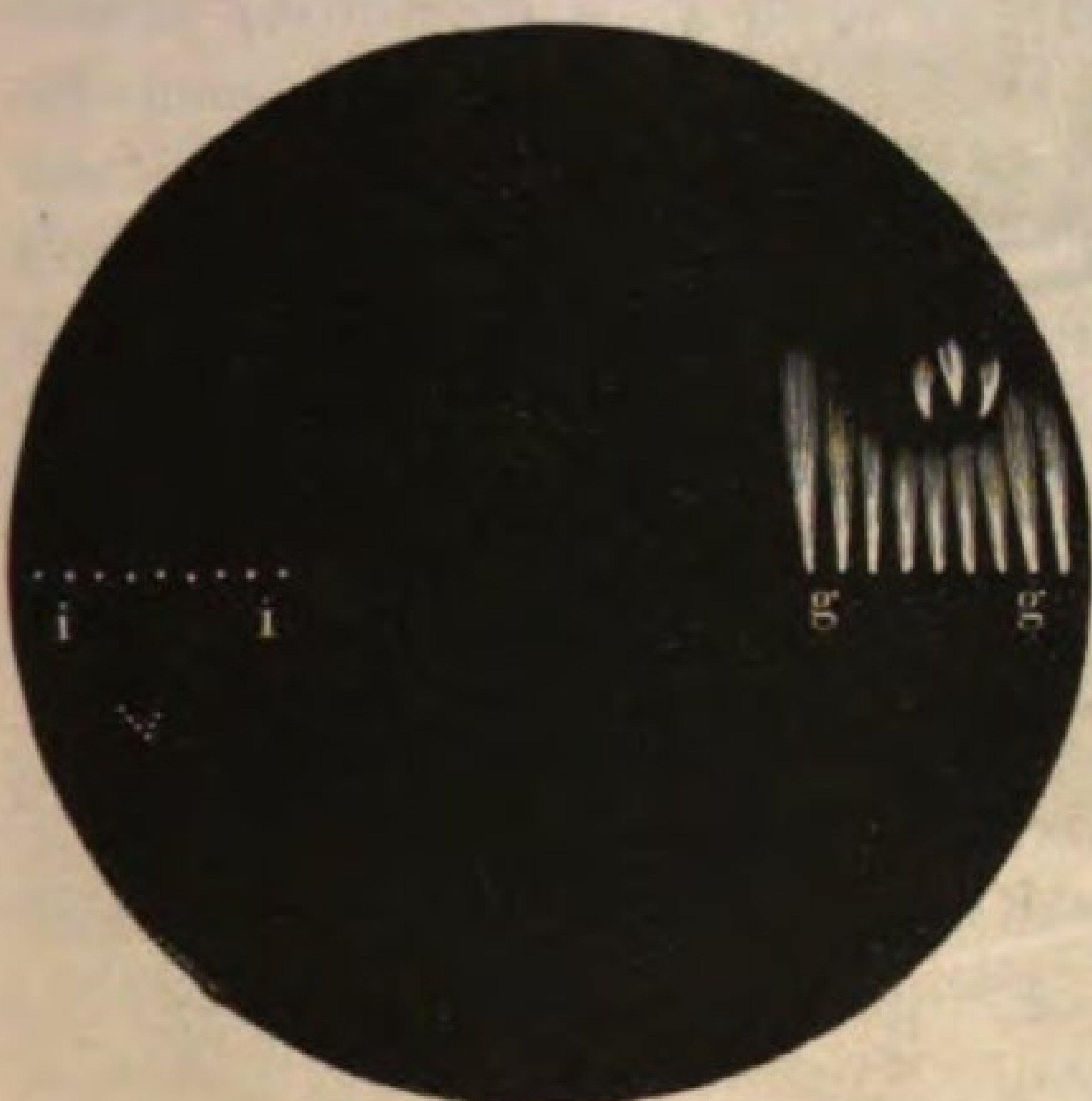
In der Mitte von k ist ein verticaler Stab von Kamm-Masse befestigt, welcher oben den Conductor tt, unten den Conductor vv trägt. Die Saugarme dieser beiden Conductoren seien nun zunächst von der rotirenden Scheibe B zurückgezogen, wie dies auch in unserer Figur dargestellt ist.

Nach dieser Beschreibung des Apparates können wir nun zur Besprechung seiner Wirkungen übergehen. Um die Maschine in Thätigkeit

zu setzen, wird eine mit Katzenfell geriebene dünne Platte von Kammmasse von der Rückseite der Fig. 109 an die Belegung *c* gehalten und diese dadurch mit negativer Elektricität geladen, während die Scheibe *B* (von vorn gesehen) rotirt wie der Zeiger einer Uhr.

Die negative Elektricität der Belegung *c* wirkt vertheilend auf den Conductor *fg*, die angezogene + *E* strömt also durch die Saugspitzen von *gg* auf die Platte *B* über, welche dadurch an dieser Stelle mit positiver Elektricität geladen wird. Diese Vertheilung würde aber bald ihr Ende erreicht haben, wenn die Glasscheibe *B* ruhig bliebe; da sie aber rotirt, so kommen stets neue Partien den Saugspitzen von *gg* gegenüber zu stehen, es kann also fortwährend positive Elektricität aus den fraglichen Spitzen auf die rotirende Scheibe übergehen, wie man im Dunkeln sehr schön sehen kann und wie es in Fig. 111 dargestellt ist, indem von den Spitzen aus Büschel positiver Elektricität an der rotirenden Scheibe hinaufströmen. In dem Maasse aber, in welchem die positive Elektricität von *gg* auf die Scheibe *B* überströmt, wird die abgestossene negative Elektricität von *gg* über *f*, *n*, *p* und *e* nach *ii* strömen, wobei zu bemerken ist, dass im Anfang die beiden Elektroden *n* und *p* in Berührung sein müssen. Von dem Conductor *ii* aber strömt die negative Elektricität auf die rotirende Scheibe über, wie man an den leuchtenden Pünktchen erkennt, welche an den Spitzen des Conductors *ii* auftreten.

Fig. 111.

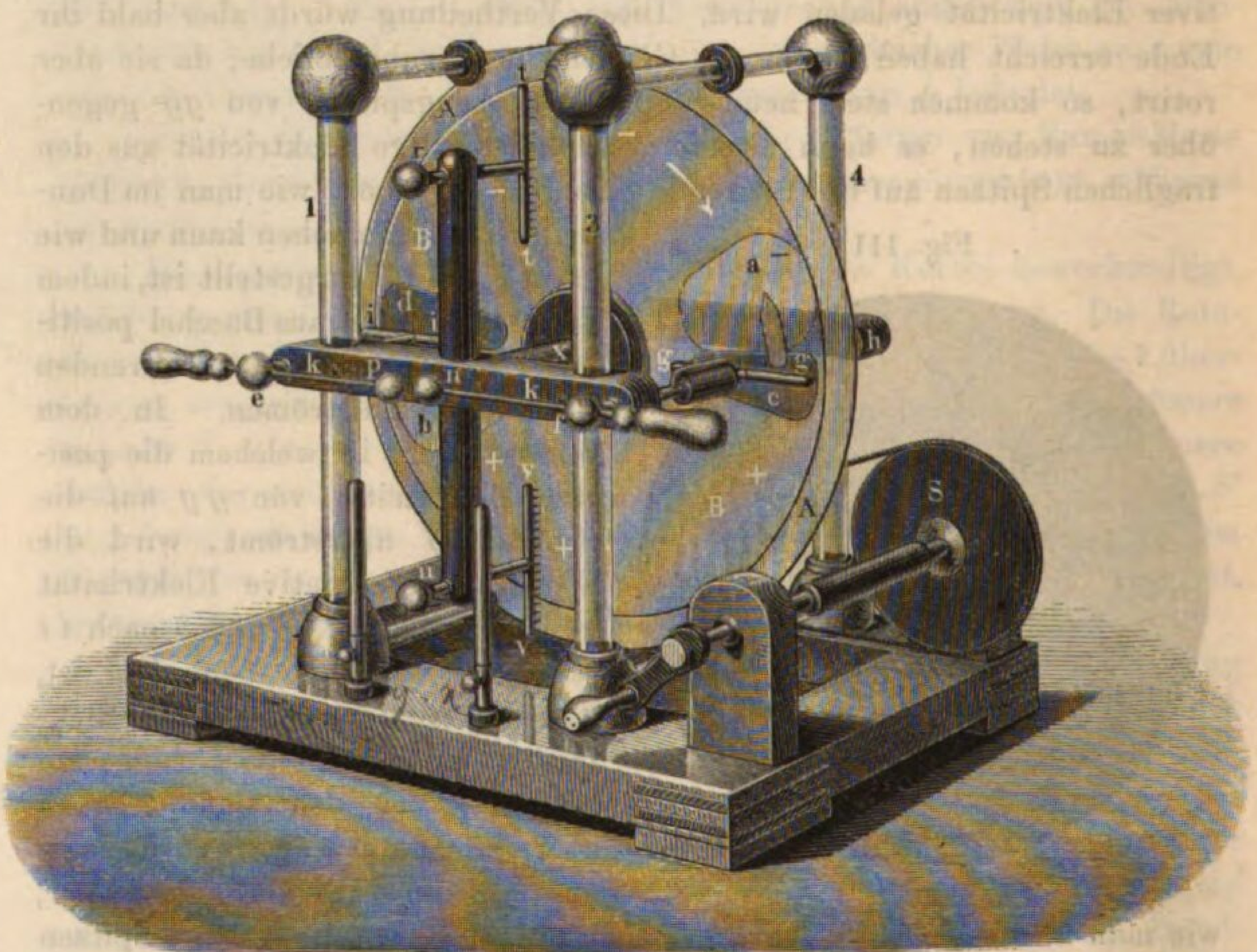


Verfolgen wir nun den elektrischen Zustand der rotirenden Scheibe. Bei *gg* mit + *E* geladen behält sie diese Ladung, welche theilweise durch die Nähe der festen Scheibe gebunden bleibt, auf der unteren Hälfte ihrer Bahn. Dem Ausschnitt *b* gegenüber wird die bis dahin auf *B* theilweise gebunden gewesene + *E* vollständig frei und kann vertheilend auf die Belegung *d* und die mit ihr verbundene Spitze von Kartenpapier einwirken. Negative Elektricität strömt von dieser Spitze auf die Scheibe *B* über und die Belegung *d* ladet sich in Folge dessen mit + *E*, welche das Ausströmen negativer Elektricität von *ii* auf die rotirende Scheibe noch mehr begünstigt. — Bei *ii* ladet sich also die rotirende Scheibe mit — *E*, welche sie auf der oberen Hälfte ihrer Bahn behält und welche dem Ausschnitte *a* gegenüber vollkommen frei werdend auf die Belegung *c* vertheilend wirken kann, wodurch dann die negative Ladung von *c* noch verstärkt wird. Die Wirkung der rotirenden Scheibe auf die Belegung *c* wird durch die Büschel positiver Elektricität sichtbar,

welche von der mit *c* verbundenen Spitze von Kartenpapier auf dieselbe übergehen (siehe Fig. 111).

So wird denn die elektrische Ladung der Belegungen *c* und *d* durch die Rotation der Scheibe *B* allmälig bis zu einer von den Isolationsverhältnissen abhängigen Gränze verstärkt, während in den Conductoren die positive Elektricität von *ii* über *c*, *p*, *n* und *f* nach *gg* strömt.

Fig. 112.



Werden nun die Kugeln *p* und *n* von einander entfernt, so geht ein continuirlicher Funkenstrom zwischen denselben über, bis ihr Abstand eine gewisse Gränze, die **Schlagweite**, erreicht hat, die bei den Maschinen mit 12zölliger rotirender Scheibe bis gegen 3 Zoll steigen kann. Werden die Kugeln *p* und *n* über die Schlagweite hinaus von einander entfernt, so kann die Elektricität nicht mehr in dem Systeme der Conductoren circuliren, die positive Elektricität kann bei *gg*, die negative bei *ii* nicht mehr in genügender Menge auf die rotirende Scheibe *B* überströmen, deren Ladung dann bald so weit abnimmt, dass die — *E* von der Belegung *c* und die + *E* von der Belegung *d* auf die Scheibe zurückströmt, was dann alsbald ein vollständiges Verschwinden der elektrischen Ladung des ganzen Apparates zur Folge hat. Um ihn wieder in Gang zu setzen, müssen die Kugeln *p* und *n* wieder in Berührung gebracht und die Belegung *c* wieder elektrisch gemacht werden.

Will man statt eines continuirlichen Funkenstromes einzelne kräfti-

gere, in grösseren Intervallen auf einander folgende Funken erhalten, so muss man die Conductoren vergrössern, was am einfachsten dadurch geschieht, dass man mit jedem Conductor eine kleine Leydener Flasche in Verbindung bringt. Es geschieht dies in folgender Weise: eine kleine Leydener Flasche wird auf der rechten, eine gleiche wird auf der linken Seite der Maschine, Fig. 112, aufgestellt; die innere Belegung der ersteren wird mit dem Conductor *fg*, die innere Belegung der zweiten wird mit *ei* in leitende Verbindung gebracht, während ein Metalldraht die äusseren Belegungen beider Flaschen verbindet. Entfernt man nun, nachdem der Maschine ihre Ladung ertheilt worden ist, die Kugeln *p* und *n* von einander, so springen zwischen denselben kräftige und stark leuchtende Funken über.

Wenn die beiden Flaschen in der angegebenen Weise mit der Maschine verbunden sind, so findet eine Umkehrung der Polarität statt, so oft man die Kugeln über die Schlagweite von einander entfernt. Nach der ersten Umkehrung treten leuchtende Pünktchen an den Spitzen des Conductors *gg* auf der rechten Seite auf, während man am Conductor *ii* auf der linken Seite kleine positive Büschel beobachtet, welche von den Spitzen aus an der rotirenden Scheibe nach unten strömen. Bringt man nun, nachdem diese kleinen Büschel eben aufgetreten sind, die Kugeln *p* und *n* rasch wieder in Berührung, so flammen die nach unten gerichteten Büschel bei *ii* alsbald zu ihrer vollen Grösse auf. Es strömt nun die positive Elektricität durch die Conductoren in der Richtung von *g* über *f*, *n*, *p* und *e* nach *i*, *n* ist also jetzt die positive, *p* ist die negative Elektrode.

Die Erklärung dieser Umkehrung bietet keine Schwierigkeit.

Um einen beliebigen Körper in den Schliessungsbogen der Maschine einzuschalten, dienen zwei Messinghülsen, welche auf isolirten auf der vorderen Seite des Grundbrettes befindlichen Messingstäbchen steckend und auf diesen mit geringer Reibung verschiebbar bis zur Berührung mit den Messingstäbchen *ep* und *fn* in die Höhe geschoben werden. Die Zuleitungsdrähte für den einzuschaltenden Körper werden dann in den Fuss der Hülsenträger eingeschraubt.

Will man z. B. mit diesem Apparat eine Leydener Flasche oder eine Batterie laden, so wird von der inneren Belegung ein Draht nach dem Fuss von *x*, von der äusseren aber ein Draht nach dem Fuss von *y* geführt.

Da die Influenzelektrisirmaschine eine grosse Quantität von Elektricität liefert, so können selbst grosse Flaschen und Batterien mit derselben in sehr kurzer Zeit geladen werden.

Um die Streifung des Lichtes in den später näher zu besprechenden Geissler'schen Röhren zu zeigen, muss ausser der Röhre noch eine feuchte Schnur in den Schliessungsbogen eingeschaltet werden.

Für den Gebrauch unseres Apparates ist es höchst unangenehm, dass sich die elektrische Ladung desselben so rasch verliert, wenn man die

Kugeln *n* und *p* über die Schlagweite hinaus von einander entfernt. Diesen Uebelstand kann man durch die überzähligen Conductoren *rtt* und *uvv* beseitigen, welche bisher ausser Wirksamkeit blieben, weil die Saugarme *tt* und *vv* zu weit von der rotirenden Scheibe *B* entfernt waren. Wird der Arm *tt* mit seinen Spitzen bis dicht vor die Scheibe *B* vorgeschoben, und dann, wenn der Apparat in Gang gesetzt ist, der Conductor *rtt* durch einen Messingbügel mit *fgg* in leitende Verbindung gesetzt, so verliert sich nun die elektrische Ladung des Apparates nicht mehr, wenn man auch die Kugeln *n* und *p* über die Schlagweite hinaus von einander entfernt. Die volle Thätigkeit des Apparates tritt sogleich wieder ein, wenn die Kugeln *n* und *p*, nachdem sie eine Zeit lang weit von einander entfernt waren, wieder nähert. Die Wirksamkeit des überzähligen Conductors ist leicht zu erklären. Wenn der supplementäre Conductor fehlt und die Kugeln *p* und *n* über die Schlagweite von einander entfernt sind, so ist der Weg unterbrochen, auf welchem die positive Elektricität von *ii* über *gg*, die negative aber von *gg* über *ii* nach der rotirenden Scheibe strömen kann, die rotirende Scheibe kann sich also bei *gg* nicht mehr genügend mit positiver, bei *ii* nicht mehr genügend mit negativer Elektricität laden und die Maschine muss alsbald aufhören zu functioniren. Wenn aber der supplementäre Conductor *rtt* in der angegebenen Weise angebracht ist, so kann bei allzugrosser Entfernung der Kugeln *p* und *n* die bei *gg* abgestossene negative Elektricität von *gg* nach *rtt* und bei *tt* auf die rotirende Scheibe strömen, während die positive auf dem entgegengesetzten Wege von *tt* nach *gg* gelangt.

Dass sich die Sache wirklich so verhält, davon kann man sich leicht überzeugen, wenn man im Dunklen experimentirt. Wenn die Kugeln *p* und *n* in Berührung sind, so zeigen sich an den Spitzen von *ii* die schon erwähnten negativen Lichtpünktchen, bei *tt* sowohl als auch bei *gg* aber sieht man positive Lichtbüschel, Fig. 113, welche jedoch weit kleiner sind als die, welche man in dem Fig. 111 dargestellten Falle bei *gg* beobachtet. Sobald man aber die Kugeln *p* und *n* über die Schlagweite entfernt, verschwinden die Lichtpünktchen bei *ii* fast ganz. Die Büschel bei *tt* verwandeln sich in negative Pünktchen, während die Lichtbüschel bei *gg* bedeutend an Grösse zunehmen.

Die feste Scheibe *A*, welche in den Apparat Fig. 112 eingesetzt ist, war mit zwei Belegungen *c* und *d* und mit zwei Ausschnitten *a* und *b*, oder wie es Holtz nennt, mit zwei Elementen versehen. Man kann dieselbe aber auch mit einer anderen, mit vier Elementen versehenen vertauschen, wie sie in Fig. 114 dargestellt ist. Den Belegungen *c* und *d* stehen die Conductoren *gg* und *ii*, den Belegungen *c'* und *d'* stehen die Conductoren *vv* und *tt* gegenüber. Wenn die Belegung *c* mit — *E* geladen ist, so wird auch *d* negativ elektrisch, während *c'* und *d'* sich mit positiver Elektricität laden. Aus den Spitzen von *gg* und *ii* wird also positive, aus den Spitzen von *vv* und *tt* wird negative Elektricität auf die rotirende Scheibe strömen, die von *c* und *d* abströmende negative

Elektricität muss also in einer, die von c' und d' abströmende positive Elektricität muss in der anderen Elektrode gesammelt werden.

Fig. 113.

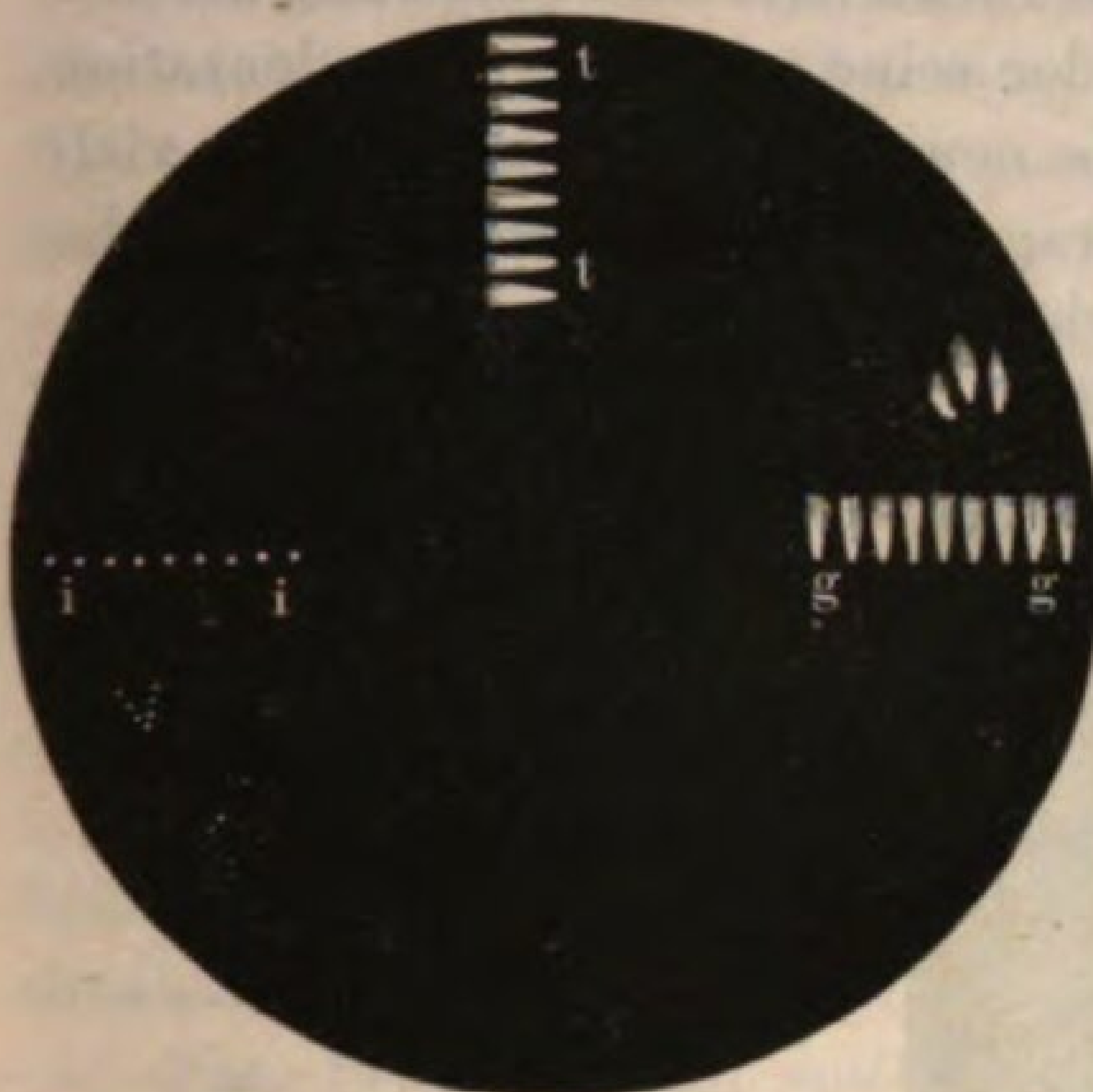
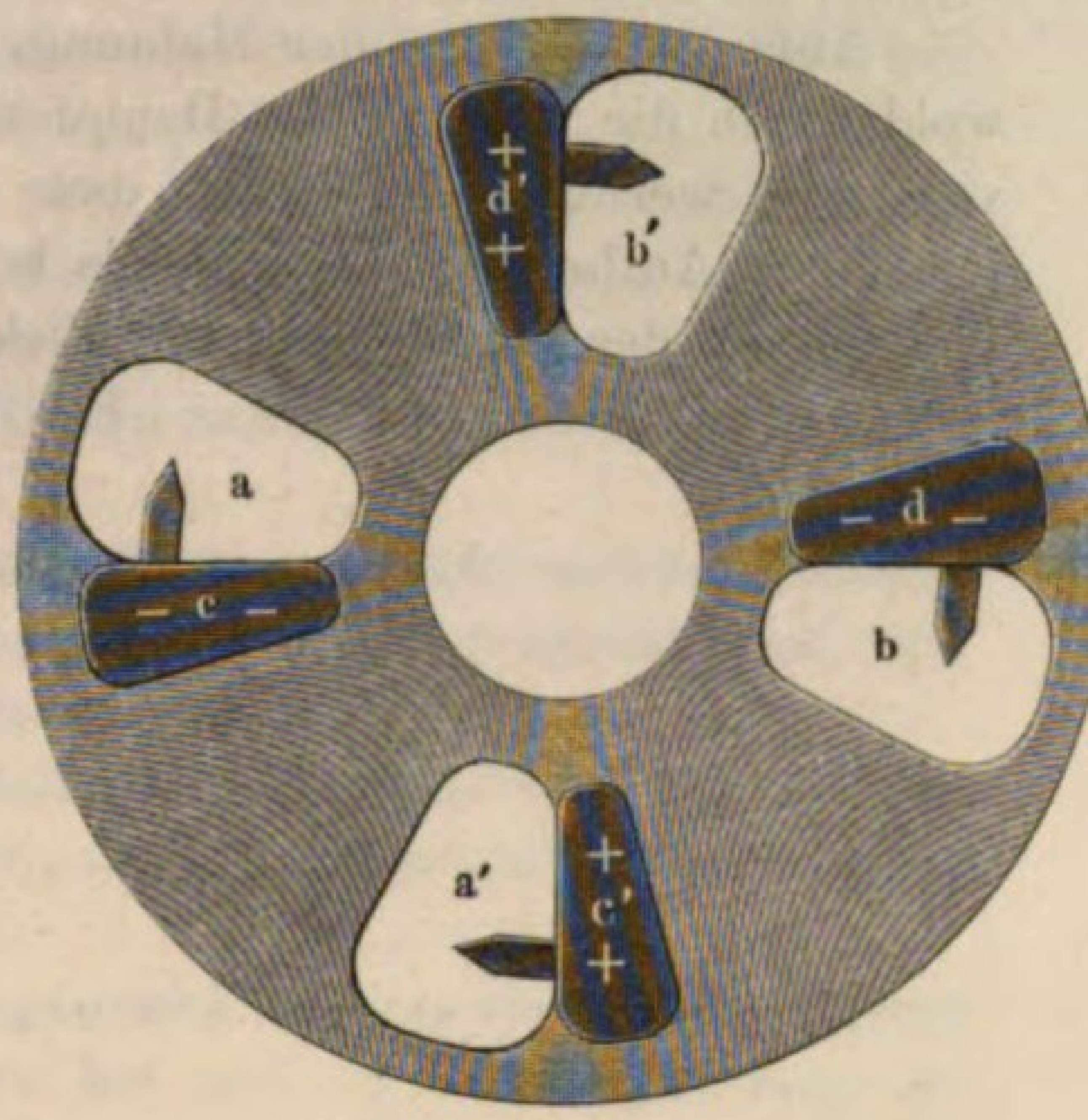


Fig. 114.



Dies geschieht in folgender Weise; der Messingbügel, welcher gg mit f verbindet, wird entfernt und alsdann uvv mit f und rtt durch einen Messingbügel metallisch verbunden; dadurch wird offenbar n die positive Elektrode, in welcher die von tt und vv abströmende positive Elektricität vereinigt wird. Ferner aber wird auch gg mit ii metallisch verbunden, wodurch dann p zur negativen Elektrode wird.

Wenn die Scheibe mit vier Elementen eingesetzt ist, so liefert der Apparat eine grössere Quantität von Elektricität, während die Schlagweite geringer ist als bei Anwendung der festen Scheibe von zwei Elementen.

Dampfelektrisirmaschine. Im Jahre 1840 machte der Engländer Armstrong eine eben so interessante als wichtige Entdeckung bekannt. Man hatte ihn benachrichtigt, dass in der Nähe von Newcastle beim Ausströmen des Dampfes aus einer Fuge in der Nähe des Sicherheitsventils eine ungewöhnliche elektrische Erscheinung beobachtet worden sei; als nämlich der Maschinenwärter zufällig die eine Hand in den Dampfstrahl hielt und mit der anderen nach dem Hebel des Ventils fasste, um die Belastung desselben zu reguliren, schlug ein Funken zwischen dem Hebel und seiner Hand über, während er zugleich einen starken elektrischen Schlag erhielt. 43

Armstrong fand diese Angaben bestätigt und beobachtete bald auch an anderen Dampfkesseln ähnliche Erscheinungen.

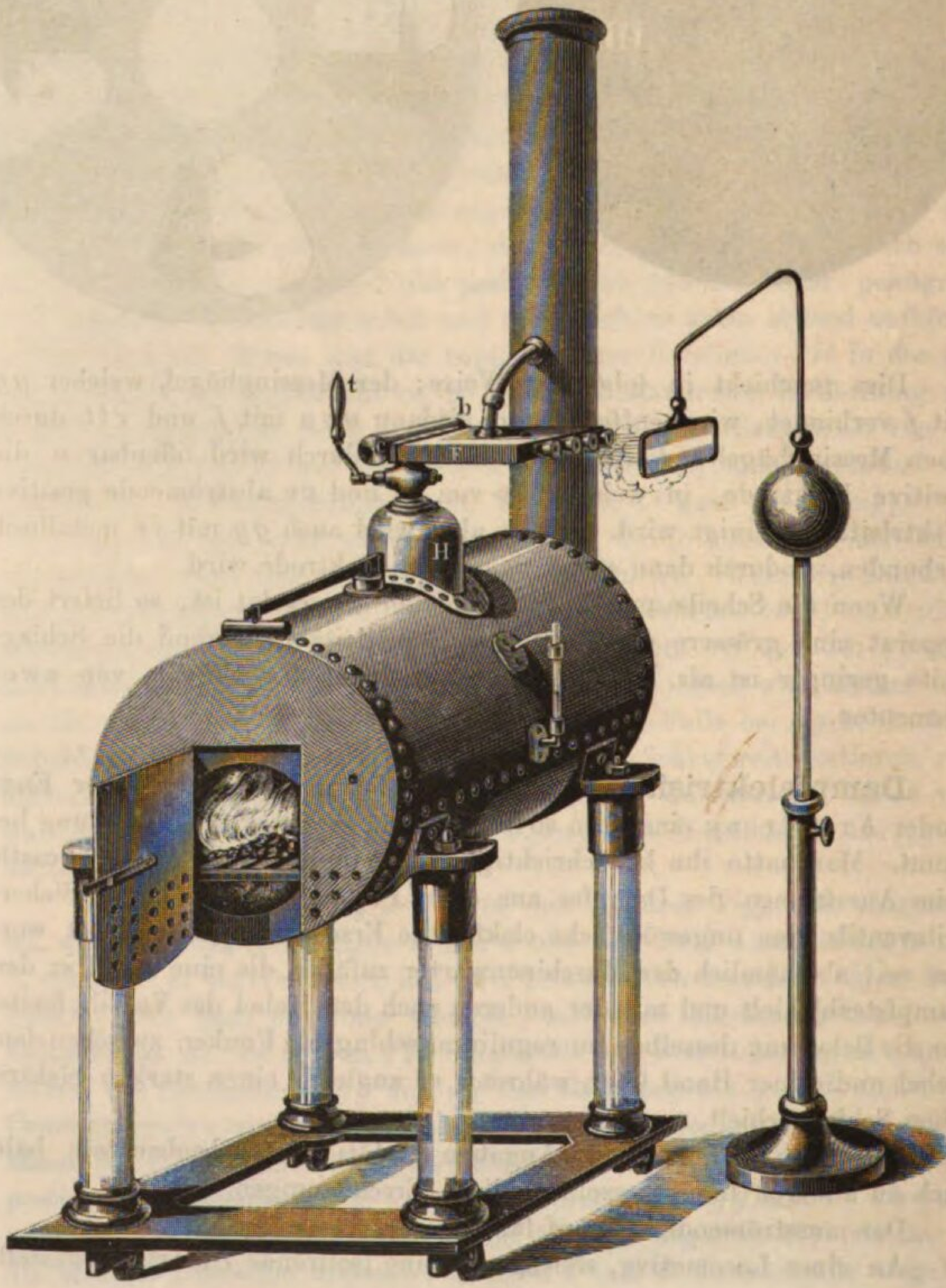
Den ausströmenden Dampf fand er positiv elektrisch.

An einer Locomotive, welche auf eine isolirende Unterlage gestellt

war, fand **Armstrong**, dass dieselbe eine starke Ladung negativer Elektricität erhielt, wenn man die positive Elektricität des ausströmenden Dampfes gehörig ableitete, und zwar so, dass man sehr kräftige Funken aus der Locomotive ziehen konnte.

Anfangs war man der Meinung, die Elektricitätsentwickelung möchte wohl durch die Bildung des Dampfes oder seine nachherige Condensation veranlasst werden, und hoffte, dass die neu entdeckte Erscheinung vielleicht zur Aufhellung des Dunkels beitragen möchte, in welches noch die Entstehung der atmosphärischen Elektricität gehüllt ist.

Fig. 115.



Nach späteren, namentlich von **Faraday** angestellten Versuchen ist jedoch wohl kein Zweifel mehr, dass die Quelle dieser Elektricität die **Reibung** des mit Gewalt ausströmenden Dampfes an den Wänden der Oeffnung ist.

Armstrong hat die beim Ausströmen des Dampfes frei werdende Elektricität zur Construction einer Elektrisirmaschine benutzt, welche er **Hydroelektrisirmaschine** nennt. Eine kolossale Maschine der Art hat er für das Polytechnic Institution zu London anfertigen lassen.

Dieser Apparat besteht aus einem cylinderförmigen Dampfkessel von $3^1/_2$ Fuss Durchmesser und $6^1/_2$ Fuss Länge mit innerer Heizung, welcher durch 6 starke Glasfüsse isolirt ist.

Der Dampf entweicht aus 46 durch Hähne verschliessbaren Röhren, an deren Mündung ein Röhrchen von hartem Holze eingesetzt ist, wodurch die Wirkung sehr verstärkt wird.

Der Dampf strömt gegen eine Reihe von Metallspitzen, die mit dem Boden in leitender Verbindung stehen, um die Elektricität des Dampfes abzuleiten.

Fig. 115 stellt eine solche **Dampfelektrisirmaschine** dar, deren Kessel 44 Centimeter im Durchmesser hat und 96 Centimeter lang ist. Die Feuerung ist innen angebracht, wie man in Fig 114 durch die geöffnet gezeichnete Thür des Feuerungsraumes sieht.

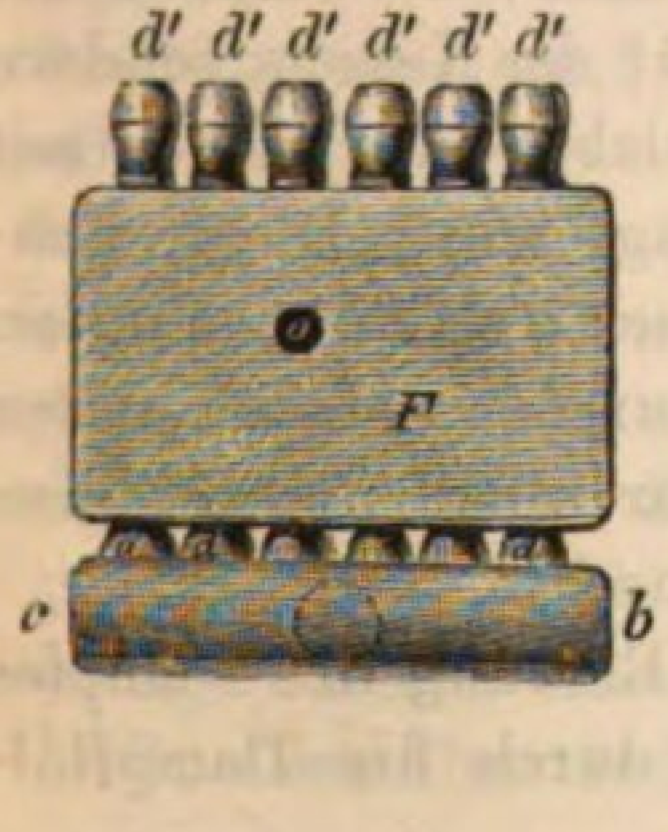
Oben auf dem Dampfkessel befindet sich ein Hut, auf welchem ein kurzes, durch einen Hahn *t* verschliessbares Messingrohr befestigt ist; auf dieses kurze Rohr können dann die Ausströmungsöffnungen aufgeschraubt werden, die alsbald näher beschrieben werden sollen.

Vor dem Hute sieht man ein Sicherheitsventil, dessen Gewicht verschiebbar ist und welches so weit herausgerückt werden kann, dass der Dampf eine Spannkraft von 6 Atmosphären erreichen muss, um das Ventil heben zu können.

Auf der rechten Seite des Dampfkessels ist ein Glasrohr angebracht, welches oben und unten mit dem Kessel in Verbindung steht, so dass man an diesem Rohre gerade so wie bei Locomotiven den Wasserstand sehen kann.

In Fig. 116 ist der auf den Kessel aufgeschraubte Apparat mit den Ausströmungsöffnungen besonders abgebildet, und zwar von oben gesehen. Auf den Hals des Dampfkessels wird ein gusseisernes Rohr *b c* von ungefähr 24 Centimeter Länge und 5 Centimeter Durchmesser aufgeschraubt. Aus diesem Rohre tritt dann der Dampf durch sechs horizontale Röhren *d d'* aus, welche durch einen mit kaltem Wasser gefüllten Kasten *F* von Messingblech hindurchgehen, so dass ein Theil des durch die Röhren strömenden Dampfes condensirt wird, was die Wirkung sehr verstärkt.

Fig. 116.



Auf eine Oeffnung *o* im oberen Deckel des Kastens *F* wird ein Messingrohr aufgesetzt, welches, wie Fig 115 zeigt, in den Schornstein führt und durch welches die im Kasten *F* gebildeten Dämpfe entweichen.

Fig. 117 stellt eine der in Fig. 116 mit *d'* bezeichneten Ausströmungsöffnungen im Durchschnitt und zwar in $^1/_2$ der natürlichen Grösse dar. An das Ende des Rohres wird ein Messingstück *MN* eingeschraubt, in welchem der das Ende der Ausströmungsröhre bildende Holzpflock *abcd* steckt. Dieser der Länge nach durchbohrte Holzcylinder wird durch einen in das Messingstück *MN* eingeschraubten kurzen Messingcylinder *r* an seiner Stelle festgehalten. An diesem gleichfalls durchbrochenen Cylinder *r* ist vorn vor seiner Oeffnung eine Messingplatte so angebracht, dass der Dampf den durch den Pfeil bezeichneten Umweg machen muss, um in die Ausströmungsöffnung zu gelangen.

Fig. 117.



Wenn der Apparat Fig. 116 auf den Dampfkessel aufgeschraubt ist und der Dampf die nöthige Spannkraft hat, wird durch eine Viertelumdrehung des Handgriffs *t*, Fig. 115, der Absperrhahn geöffnet, der Dampf strömt mit Gewalt aus den sechs Oeffnungen hervor, und alsbald wird auch der Kessel elektrisch. Der entweichende Dampf hat die entgegengesetzte Elektricität wie der Kessel; um aber eine möglichst starke Wirkung zu erhalten, muss die Elektricität des Dampfes möglichst abgeleitet werden; dies geschieht dadurch, dass man in den Dampfstrom eine Reihe von Metallspitzen stellt, welche an einem messingenen Conductor befestigt sind, der mit dem Boden in leitender Verbindung steht. Dieser Conductor steht auf einem Glasfusse, so dass man ihn isoliren kann, um zu zeigen, dass der Dampf in der That die entgegengesetzte Elektricität des Kessels hat.

Mit dieser Hydroelektrisirmaschine lässt sich eine Batterie von 36 Quadratfuss Oberfläche in Zeit von 30 Secunden vollständig laden.

Wenn Apparate der eben beschriebenen Art in kleineren Dimensionen ausgeführt werden, so wird der Effect unverhältnissmässig gering. — Um die Versuche über Dampfelektricität auch ohne besonderen isolirten Dampfkessel anstellen zu können, hat Schwerd einen zweckmässig construirten Ausströmungsapparat an einer Locomotive angebracht, die nicht isolirt zu werden braucht, weil er nicht mit der Elektricität des Kessels, sondern mit der Elektricität des Dampfes experimentirt, welche durch einen mit Saugspitzen versehenen isolirten Conductor aufgesaugt wird. Dieser Conductor ist dem in Fig. 115 rechts vom Dampfkessel stehenden ähnlich.

Zu wissenschaftlichen Versuchen über die Natur der hier erzeugten Elektricität hat man das Maximum der Wirkung gar nicht nöthig, man braucht nur eine einzige Ausströmungsöffnung anzuschrauben.

Dass die Elektricität hier wirklich durch die Reibung des Dampfes an den Wänden des Ausflusscanals und nicht etwa durch die Dampfbil-

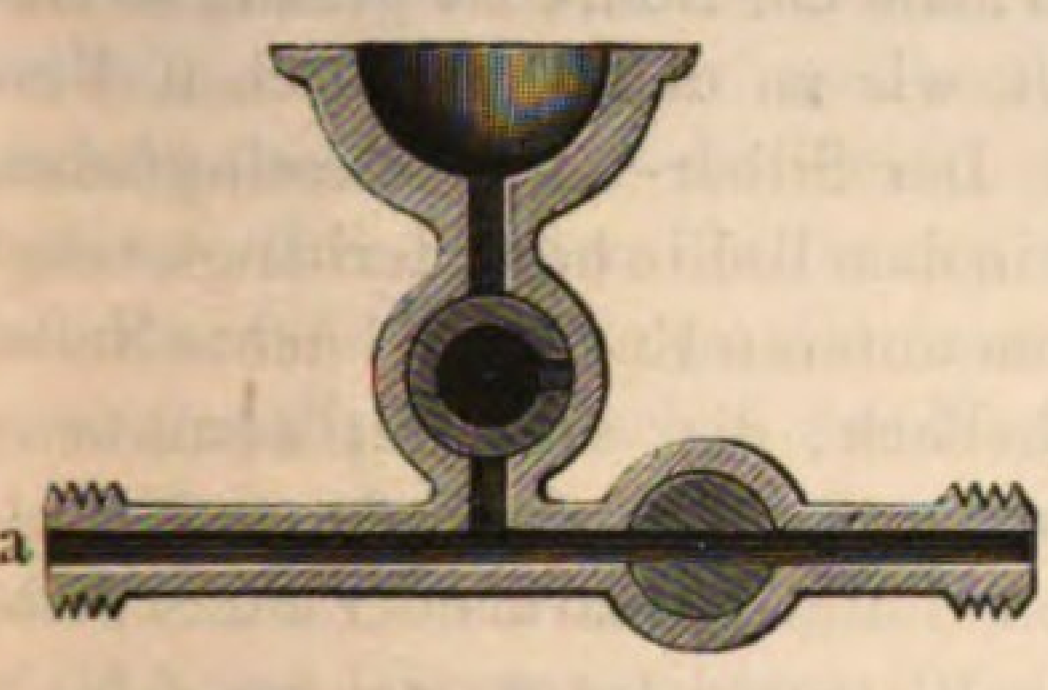
dung erzeugt wird, geht daraus hervor, dass augenblicklich alle Elektricität verschwindet, wenn man das Sicherheitsventil öffnet, obgleich die Dampfbildung ununterbrochen fortdauert.

Zur Erzeugung der Elektricität ist es wesentlich, dass schon condensirte Wassertheilchen von dem ausströmemden Dampf mit durch die Ausströmungsröhren durchgetrieben werden; deshalb der Condensationsapparat *F*, Fig. 116. Wenn die Ausströmungsröhren lang genug sind, ist kein besonderer Abkühlungsapparat nöthig.

Wenn die Dampfmündung durch eine Holzröhre gebildet wird, wie es oben angegeben wurde, so ist der Kessel negativ, der Dampf positiv elektrisch; dasselbe ist der Fall bei Anwendung einer metallenen oder gläsernen Dampfmündung. Wendet man statt der hölzernen eine elfenbeinerne Röhre an, so zeigt der Kessel kaum Spuren einer Ladung.

Wenn man vor der Dampfmündung etwas Terpentinöl in die Ausströmungsröhre bringt, so wird der Kessel positiv und der Dampf negativ elektrisch. Um das Terpentinöl oder auch andere Flüssigkeiten bequem in die Ausströmungsröhre einbringen zu können, wendet man eine Vorrichtung an, welche durch Fig. 118 angedeutet ist. *ab* ist ein Stück des Ausströmungsrohres; aus demselben geht eine Röhre vertical in die Höhe, welche durch einen Hahn von eigenthümlicher Einrichtung geschlossen wird; er bildet nämlich eine Höhlung, welche nur nach einer Seite offen ist. Ueber diesem Hahn befindet sich eine trichterförmige Erweiterung, in welche die Flüssigkeit eingegossen wird. Wenn der Hahn steht, wie ihn die Zeichnung darstellt, so ist seine Höhlung weder mit dem Trichter noch mit dem Rohr in Verbindung. Wird die Oeffnung des Hahnes nach oben gekehrt, so füllt sich seine Höhlung mit der Flüssigkeit aus dem Trichter; dreht man jetzt den Hahn um eine halbe Umdrehung, so muss nun die Flüssigkeit aus der Höhlung in das Rohr fallen.

Fig. 118.



Wenn durch Terpentinöl der Kessel positiv gemacht worden ist, so verliert sich dieser Zustand bald wieder, wenn nicht neues Terpentinöl eingebracht wird, und geht in den negativen über, sobald alles Terpentinöl weggerissen und verdampft ist. Fette Oele, wie Baumöl, bringen dieselbe Wirkung hervor, nur ist ihre Wirkung bleibender, weil sie nicht so flüchtig sind. Ein Holzfutter, durch welches einmal ein fettes Oel durchgeströmt ist, ist unbrauchbar, um den kräftigen negativen Zustand des Kessels wieder zu erzeugen, wie er entstehen würde, wenn der Dampf durch eine nicht fette Holzröhre ausströmte.

Bringt man durch den Hahn, Fig. 118, eine Salzlösung in die Ausströmungsröhre, so hört augenblicklich alle Elektricitätsentwickelung auf.

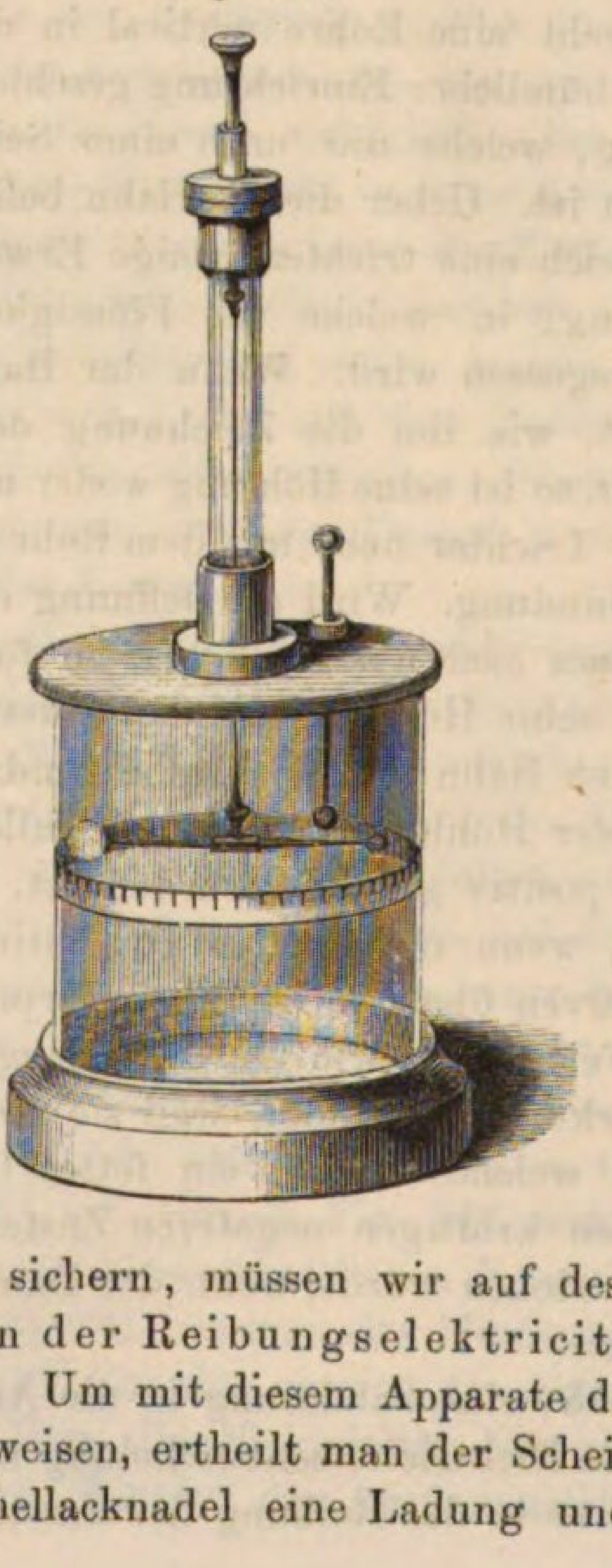
Alle diese Umstände beweisen, dass nur in der Reibung der ausströ-

menden Wasser- und Dampftheilchen an den Röhrenwänden und nicht in der Veränderung des Aggregatzustandes die Ursache der Elektricitätsentwickelung zu suchen sei.

44 **Intensität der elektrischen Anziehungen und Abstossungen.** Die elektrischen Anziehungen und Abstossungen verhalten sich wie die Dichtigkeiten der auf einander wirkenden Fluida, und umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung. Dieses Fundamentalgesetz der elektrischen Wirkungen ist wie das entsprechende Gesetz für die magnetischen Kräfte von Coulomb aufgestellt und bewiesen worden. Er wandte hier ganz ähnliche Mittel an, wie dort, nämlich die Drehwage und die Oscillationen einer kleinen elektrischen Nadel.

Man kann die Drehwage in der schon auf Seite 40 beschriebenen Gestalt auch zu elektrischen Versuchen anwenden, für welche jedoch die Form Fig. 119 weit geeigneter ist. Vor Allem muss man dafür sorgen, dass alle Wände möglichst gut isoliren. Der gleichfalls gut isolirende Deckel hat hat zwei Löcher, eines in der Mitte, über welchem die Röhre sich erhebt, und ein anderes auf der Seite, um die elektrisirten Körper in den Apparat hineinzubringen. Der Torsionskreis am oberen Theile der Röhre ist gerade so eingerichtet, wie zu den magnetischen Versuchen. Der Silber- oder Messingfaden, welcher in dem Rohre herunterhängt, trägt an seinem unteren Ende eine leichte Nadel von Schellack, die sehr gut äquilibrirt sein muss, und an einem Ende ein Kügelchen von Hollundermark oder ein Scheibchen von Blattgold trägt, welches 6 bis 8 Linien im Durchmesser hat. Auf den Boden setzt man, um die Luft im Inneren trocken zu erhalten, ein Schälchen, in welchem sich einige Stücke Chlorcalcium befinden.

Fig. 119.



In Betreff der Verbesserungen, welche Riess noch an der Drehwage angebracht hat, um den Messungen mit derselben grössere Genauigkeit und Bequemlichkeit zu sichern, müssen wir auf dessen vortreffliches Werk: „Die Lehre von der Reibungselektricität" verweisen.

Um mit diesem Apparate das Gesetz der elektrischen Abstossung zu beweisen, ertheilt man der Scheibe oder dem Kügelchen der horizontalen Schellacknadel eine Ladung und bringt dann ein mit derselben Elektri-

cität geladenes Scheibchen oder Kügelchen, welches am unteren Ende eines vertical gehaltenen Schellackstäbchens befestigt ist, wie Fig. 119 zeigt, in den Apparat. Der Torsionskreis muss anfänglich so gestellt sein, dass, bevor ein elektrisirter Körper in den Apparat gebracht wird, das eine Ende der horizontalen Schellacknadel, welches das Scheibchen oder Kügelchen trägt, an der Stelle sich befindet, welche nachher das untere Ende des von oben eingeschobenen Schellackstabes einnimmt. Bei dieser Stellung ist die horizontale Schellacknadel nach dem Nullpunkte der Theilung gerichtet. Sobald nun das Scheibchen, welches unten am verticalen Schellackstabe sich befindet, mit derselben Elektricität geladen ist, wie das Scheibchen der horizontalen Nadel, so findet eine Abstossung statt, deren Stärke durch die Torsion des Drahtes nach den in §. 19 besprochenen Grundsätzen ermittelt werden kann.

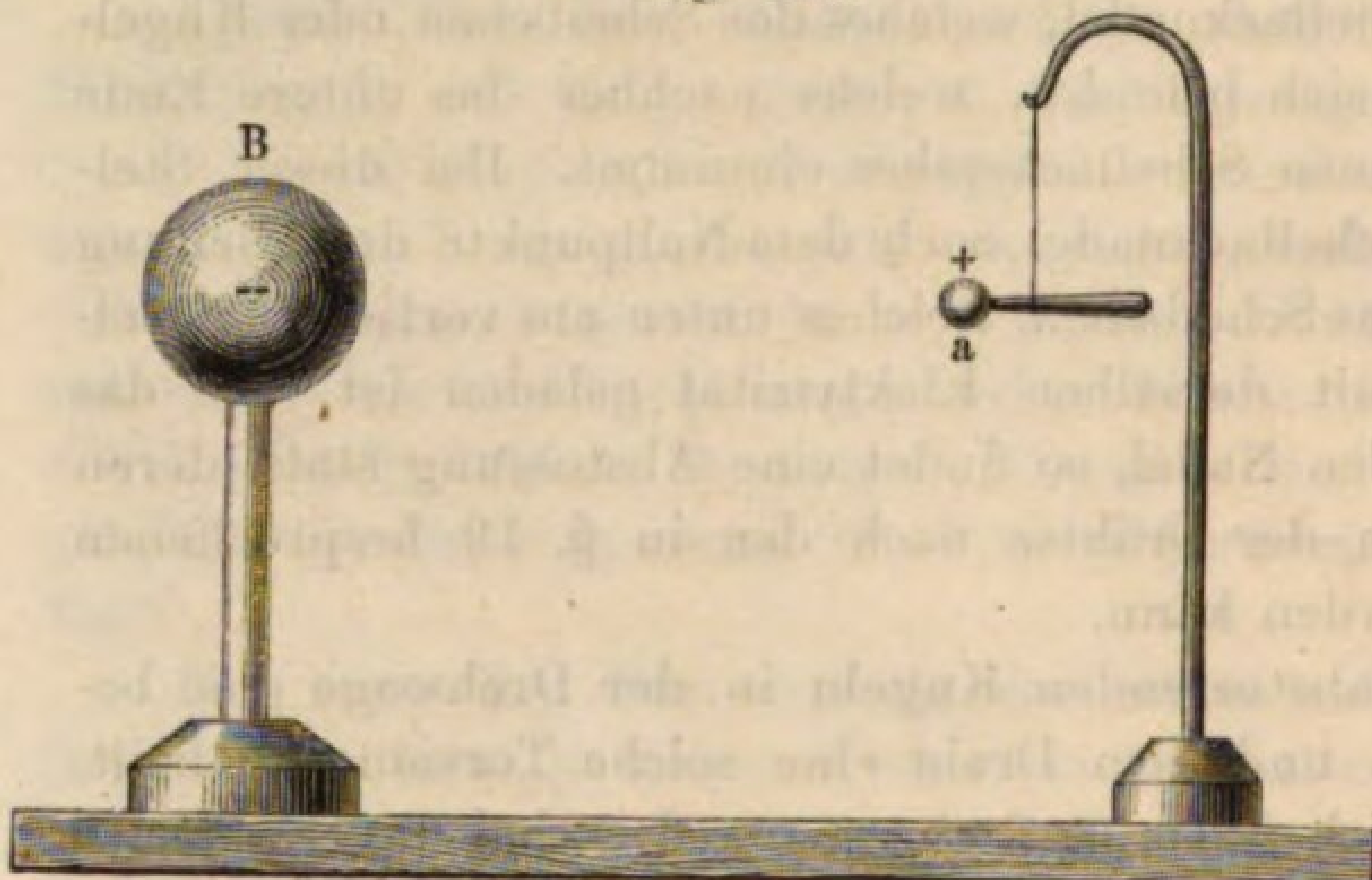
Hat man den sich abstossenden Kugeln in der Drehwage eine bestimmte Ladung ertheilt und dem Draht eine solche Torsion t ertheilt, dass ihre Entfernung gleich r ist, so findet man, dass bei unveränderter Ladung eine Torsion $4t$, $9t$ u. s. w. nöthig ist, um die Kugeln auf die Entfernung $\frac{1}{2}r$, $\frac{1}{3}r$ u. s. w. zu nähern.

Um zu beweisen, dass die elektrischen Abstossungen sich verhalten wie die Dichtigkeit der auf einander wirkenden elektrischen Flüssigkeiten, muss man ein Princip anwenden, welches schon für sich selbst einleuchtend ist: dass nämlich auf zwei leitenden, isolirten und vollkommen gleichen Kugeln sich die Elektricität, die sich auf ihnen befindet, ganz gleich vertheilt, wenn man sie in Berührung bringt. Wäre z. B. vor der Berührung nur die eine der beiden Kugeln elektrisirt gewesen, die andere nicht, so wird bei der Berührung die erstere die Hälfte ihrer E verlieren. Nachdem man nun zuerst die Torsionskraft bestimmt hat, welche der abstossenden Kraft zwischen der Kugel der horizontalen Nadel und der des eingeschobenen Stabes für eine bestimmte Entfernung das Gleichgewicht hält, berührt man die Kugel des Stabes mit einer vollkommen gleichen, auf dieselbe Weise isolirten, nicht elektrischen Kugel. Die auf diese Weise berührte Kugel verliert die Hälfte ihrer Elektricität, und um nun wieder gleiche Ablenkung der horizontalen Nadel zu erhalten, darf die Torsion des Fadens nur halb so gross sein, als vor der Berührung. Nimmt man auf dieselbe Weise der einen Kugel wieder die Hälfte ihrer Elektricität, so wird die abstossende Kraft abermals um die Hälfte vermindert u. s. w. Nimmt man zu gleicher Zeit jeder der beiden Kugeln in der Drehwage die Hälfte ihrer Elektricität, so ist die Wirkung zwischen beiden 4mal schwächer als vorher.

Das Gesetz, nach welchem die elektrische Anziehung und Abstossung bei wachsender Entfernung der auf einander wirkenden elektrischen Körper abnimmt, hat Coulomb auch durch die Oscillationen eines elektrischen Pendels in folgender Weise ermittelt. Er liess eine kleine Nadel von Schellack, die an einem Seidenfaden horizontal aufgehangen war und welche an ihrem Ende eine kleine metallene Hohlkugel a, Fig. 120,

trug, unter dem Einflusse einer isolirten Kugel B oscilliren, nachdem man sowohl der Kugel B als auch der kleinen Kugel a eine elektrische Ladung mitgetheilt hatte. Sind a und B mit entgegengesetzten Elektricitäten geladen, so nimmt das Schellackstäbchen mit der Kugel a die in Figur 120 angedeutete Stellung ein, sind aber a und B mit derselben Elektricität geladen, so wird das Schellackstäbchen eine solche Stellung einnehmen, dass a das von B abgewendete Ende desselben bildet. Etwas aus seiner Gleichgewichtslage in horizontaler Ebene entfernt, wird nun das kleine horizontale Pendel um seine verticale Axe oscilliren, und aus der Schwingungsdauer kann man auf die Intensität der Wirkung schliessen, welche die Elektricität, mit welcher B geladen ist, auf diejenige ausübt, welche a enthält.

Fig. 120.



Bezeichnen wir nun mit t die Schwingungsdauer des kleinen elektrischen Pendels für eine bestimmte Entfernung der beiden Kugeln, so wird man bei gleicher Ladung die Schwingungsdauer nahe gleich $2t$, $3t \ldots nt$ finden, wenn der Abstand der beiden Kugeln 2mal, 3mal . . . nmal so gross ist.

Nun aber ist die Schwingungsdauer irgend eines Pendels stets der Quadratwurzel aus der beschleunigenden Kraft, welche es treibt, umgekehrt proportional, wir haben also:

$$t : nt = \sqrt{\frac{1}{v}} : \sqrt{\frac{1}{v'}},$$

wenn wir mit v die beschleunigende Kraft bezeichnen, welche auf das kleine Pendel bei einfachem, und mit v' diejenige, welche auf dasselbe bei dem nfachen Abstand der Kugeln a und B wirkt. Aus obiger Gleichung ergiebt sich aber

$$v' = \frac{v}{n^2}.$$

Die Intensität der elektrischen Wirkung zwischen den beiden Kugeln a und B nimmt also in demselben Verhältnisse ab, in welchem das Quadrat ihrer Entfernung wächst, oder wie man es gewöhnlich kurz ausdrückt: sie verhält sich umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung.

Die Quantität der Elektricität, welche ein elektrischer Körper A in einem benachbarten isolirten Leiter B zu binden vermag, ist der Anziehung proportional, welche die Elektricität in A auf die entgegen-

gesetzte in B ausübt. Das Gesetz, nach welchem mit wachsender Entfernung zwischen A und B die Quantität der in B gebundenen Elektricität abnimmt, muss also dasselbe sein, wie das für die elektrischen Anziehungen und Abstossungen. Dass die Anziehung im umgekehrten Verhältniss des Quadrats der Entfernung abnimmt, muss sich also auch aus Versuchen über die Stärke der elektrischen Bindung für verschiedene Entfernungen ableiten lassen.

Nach diesem Princip habe ich die folgende Versuchsreihe ausgeführt.

An einer seidenen, wohl isolirenden Schnur, Fig. 121, war eine hohle Messingkugel A von 2 Zoll Durchmesser aufgehängt. Genau unter derselben stand ein Strohhalmelektrometer (dasselbe, dessen Graduirung auf Seite 97 besprochen wurde) auf der Platte eines Stativs, welche beliebig auf- und abgeschoben und in jeder beliebigen Stellung festgestellt werden konnte. Die Messingplatte des Elektrometers hatte 18''' Durchmesser.

Fig. 121.



An dem Stabe, welcher die Platte des Stativs trug, waren drei Striche in einem Abstande von 3 Zoll angebracht. Wenn der unterste dieser Striche gerade an dem oberen Ende des hohlen Fusses einstand, war die Platte des Elektrometers 3 Zoll von dem Mittelpunkte der Kugel entfernt; diese Entfernung betrug 6 Zoll oder 9 Zoll, wenn der zweite oder der oberste der drei Striche eben so einstand. Nehmen wir 3 Zoll zur Einheit, so befand sich also die Elektrometerplatte einmal in der Entfernung 1, dann in der Entfernung 2, endlich in der Entfernung 3 von dem Mittelpunkte der Kugel A.

Als die Platte des Elektrometers in der Entfernung 3 von der Kugel stand, wurde nun diese Platte ableitend mit dem Finger berührt, und die Kugel a dadurch geladen, dass sie mit der Kugel einer kleinen geladenen Leydener Flasche in Berührung gebracht wurde.

War auf diese Weise die Kugel geladen, so wurde die Flasche rasch auf Seite gestellt.

Die Elektricität auf A musste nun eine bestimmte Quantität entgegengesetzter E auf der Platte von B binden, die alsbald messbar wurde, wenn man den Finger von der Platte zurückzog und sogleich die Kugel A mit der Hand fasste und auf Seite schob. Es ergab sich eine Ablenkung von 6^0.

Nun wurde die Platte des Stativs um 3 Zoll höher gestellt, so dass jetzt die Entfernung zwischen der Elektrometerplatte und dem Mittel-

punkte von A gleich 2, also 2 × 3 Zoll, war, und der Versuch auf dieselbe Weise wiederholt, wobei dieselbe Flasche mit der nämlichen Ladung angewandt wurde. Es ergab sich die Divergenz 12⁰.

Derselbe Versuch in der Entfernung 1 wiederholt, gab die Divergenz 30,5⁰.

Jetzt wurde der Elektrometer der Reihe nach in die Entfernung 2, 3, 2, 1, 2, 3 u. s. w. gebracht und immer derselbe Versuch angestellt. Die Resultate der Beobachtungen sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

											Mittel.
1	30,5		31,5		30		31		30		30,6
2	12	12	12,5	10	12	11	10,5	11,5	11	11,5	11,4
3	6		6	5,5		6		7		6	6,2

Bei gleicher Ladung der Kugel A erhielt man also im Mittel die Divergenz 30,6⁰ für die Entfernung 1; die Divergenz 11,4⁰ für die Entfernung 2, und endlich die Divergenz 6,2⁰ für die Entfernung 3.

Die gleiche Ladung der Kugel A wurde dadurch erhalten, dass sie immer mit der Kugel derselben für die ganze Versuchsreihe ein- für allemal geladenen Leydener Flasche berührt wurde. Allerdings wurde die Ladung der Flasche bei jeder Berührung mit der Kugel etwas vermindert, doch ist diese Verminderung nach 20maliger Berührung noch unmerklich, wie man aus obiger Tabelle ersieht.

Sehen wir nun, wie gross die elektrischen Ladungen sind, welche an unserem Elektrometer die Divergenzen 30,6 — 11,4 — und 6,2 geben. Nach Gleichung 1), Seite 97, entspricht

dem Ausschlag	30,6	die Ladung 8,5
„ „	11,4	„ „ 2,08
„ „	6,2	„ „ 0,96

Es verhalten sich aber 8,5 : 2,08 : 0,96 sehr nahe wie 1 : $^1/_4$: $^1/_9$, die bindende Wirkung, welche die Kugel A auf die Elektrometerplatte B ausübt, nimmt also in der That im umgekehrten Verhältniss des Quadrats der Entfernung ab.

Allmäliger Verlust der Elektricität. Wenn ein elektrischer Leiter noch so gut isolirt ist, so verliert er doch nach und nach seine Elektricität, sie zerstreut sich in der Luft oder geht in den Boden über. Da sich nun ein solcher Verlust nicht vermeiden lässt, so muss man doch bei genauen Versuchen dafür sorgen, dass er möglichst langsam vor sich gehe, dass er regelmässig und messbar werde, damit man ihn in Rechnung bringen kann. Ohne dies ist eine genaue Messung und Vergleichung elektrischer Kräfte ganz unmöglich.

Der Verlust durch die isolirenden Träger findet theils durch ihre Substanz, theils durch eine dünne Feuchtigkeitsschicht statt, mit welcher sie sich überziehen. Dieses letztere findet besonders bei Glas und

Seide statt, auf welche sich Wasserdampf sehr leicht niederschlägt. Es ist deshalb immer nöthig, Glasoberflächen, die gut isoliren sollen, mit einer Schicht von Schellackfirniss zu überziehen. Nach Coulomb's Versuchen isolirt ein so überzogener Glasstab schwache Ladungen ebenso, wie eine Schellackstange, wenn er 15 bis 20 Zoll lang ist. Man muss freilich durch Erwärmen dafür sorgen, dass alle Feuchtigkeit vollkommen entfernt sei. Da solche Träger nur dann vollständig isoliren, wenn sie eine hinreichende Länge haben, so ist klar, dass sie selbst eine gewisse elektrische Ladung annehmen, und man begreift wohl, dass eine stärkere Ladung, die gleichartige Elektricität mit grosser Kraft abstossend, sie bis an das Ende des isolirenden Trägers treibt und sie nöthigt, langsam und continuirlich in den Boden überzuströmen. Dass ein Leiter durch seine Träger vollständig isolirt sei, erkennt man daran, dass er, mit mehreren derselben in Berührung gebracht, nicht mehr verliert, als wenn er nur von einem einzigen getragen wird. Aller Verlust, welchen er alsdann erleidet, rührt nur von der Berührung mit der Luft her.

Der Verlust durch die Luft rührt grösstentheils von dem in der Luft enthaltenen Wasserdampf her, denn er nimmt mit der Feuchtigkeit der Luft zu. Es ist dies so auffallend, dass, wenn man über eine elektrische Glasröhre oder einen Harzstab hinbläst, diese alle Elektricität verlieren. Ebenso verhält es sich, wenn man nach einem isolirten Leiter bläst, nur darf man natürlich diesem nicht zu nahe kommen, weil sonst ein Funken überspringt. Es rührt aber nicht aller Verlust, den ein elektrisirter Körper in der Luft erleidet, nur von der Gegenwart des Wasserdampfes her, denn selbst in einer Luft, welche durch Chlorcalcium vollständig getrocknet ist, findet ein solcher Verlust statt, wie die Versuche mit der Drehwage zeigen.

Wie gross dieser Verlust ist, lässt sich durch den Versuch leicht ermitteln. Nachdem z. B. den beiden Kügelchen der Drehwage eine solche Ladung ertheilt worden war, dass es einer Drehung des oberen Mikrometers von 250^0 bedurfte, um die Kügelchen in einem Abstand von 20^0 zu erhalten, betrug also ursprünglich die Torsionskraft, welche der abstossenden Kraft das Gleichgewicht hielt, $250 + 20 = 270^0$. Nach und nach näherten sich aber die Kügelchen; man musste nach einer Minute die Torsion um 6^0 vermindern, um die Entfernung von 20^0 wieder zu erhalten. In einer Minute war also der Verlust an Elektricität entsprechend einer Torsion von 6^0. Zu Anfang der Minute war die elektrische Kraft gleich einer Torsion von 270^0, am Ende derselben gleich 264^0; die mittlere elektrische Kraft während dieser Minute war also $\frac{270 + 264}{2} = 267^0$. In einer Minute betrug also der Verlust $^6/_{267}$ oder $^1/_{44}$ der mittleren elektrischen Kraft.

Auf diese Weise hat Coulomb genau den elektrischen Verlust in der Luft ermittelt. An trockenen Tagen war er $^1/_{60}$ bis $^1/_{70}$ der mittleren Kraft für jede Minute, an feuchten Tagen betrug er oft $^1/_{20}$; unter solchen

Umständen sind genaue Versuche nicht möglich. Wenn in der Atmosphäre wenige Veränderungen vorgehen, seien es nun Veränderungen der Wärme oder der Windrichtung, so bleibt der Verlust durch die Luft den ganzen Tag über fast derselbe.

Auch den elektrischen Verlust eines ausserhalb der Drehwage befindlichen isolirten Leiters kann man mit der Drehwage messen. Man berührt ihn an einer bestimmten Stelle mit einem Probescheibchen und bringt dieses in die Drehwage, deren horizontale Nadel sich noch im natürlichen Zustande befindet. Anfangs wird sie angezogen, berührt das Probescheibchen, ladet sich mit seiner Elektricität und wird dann abgestossen. Die Stärke der Abstossung wird auf die bekannte Art gemessen. Will man sehen, wieviel die elektrische Ladung des isolirten Leiters nach einer bestimmten Zeit abgenommen hat, so muss man vorerst die Nadel der Drehwage wieder in den natürlichen Zustand versetzen und dann den Versuch ganz auf dieselbe Weise wiederholen.

Bei den Versuchen über die Stärke der elektrischen Bindung in verschiedenen Entfernungen, wie ich sie auf Seite 125 beschrieben habe, ist der allmälige Verlust der Elektricität weit weniger merklich als bei den Versuchen mit der Drehwage.

46 **Elektrometer nach dem Principe der Drehwage.** Die Coulomb'sche Drehwage ist zwar ein Instrument von grosser Genauigkeit, aber keineswegs von grosser Empfindlichkeit. Für Elektricitätsquellen schwacher Spannung ist sie nicht brauchbar. Verschiedene Physiker, namentlich Peltier, Oersted, Dellmann und Romershausen, haben aber Elektrometer nach dem Princip der Drehwage construirt, welche sich durch einen hohen Grad von Empfindlichkeit auszeichnen.

Fig. 122.

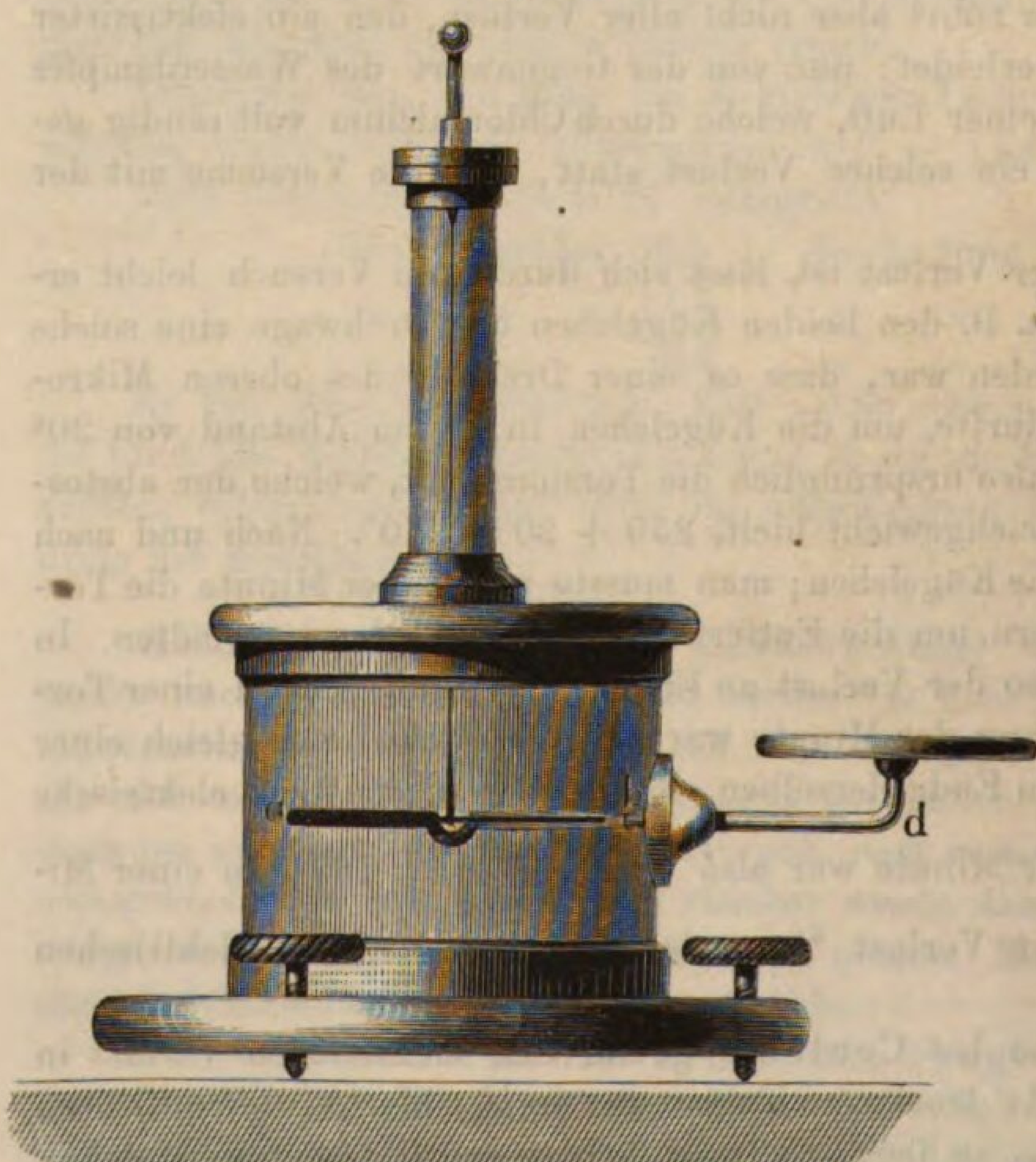
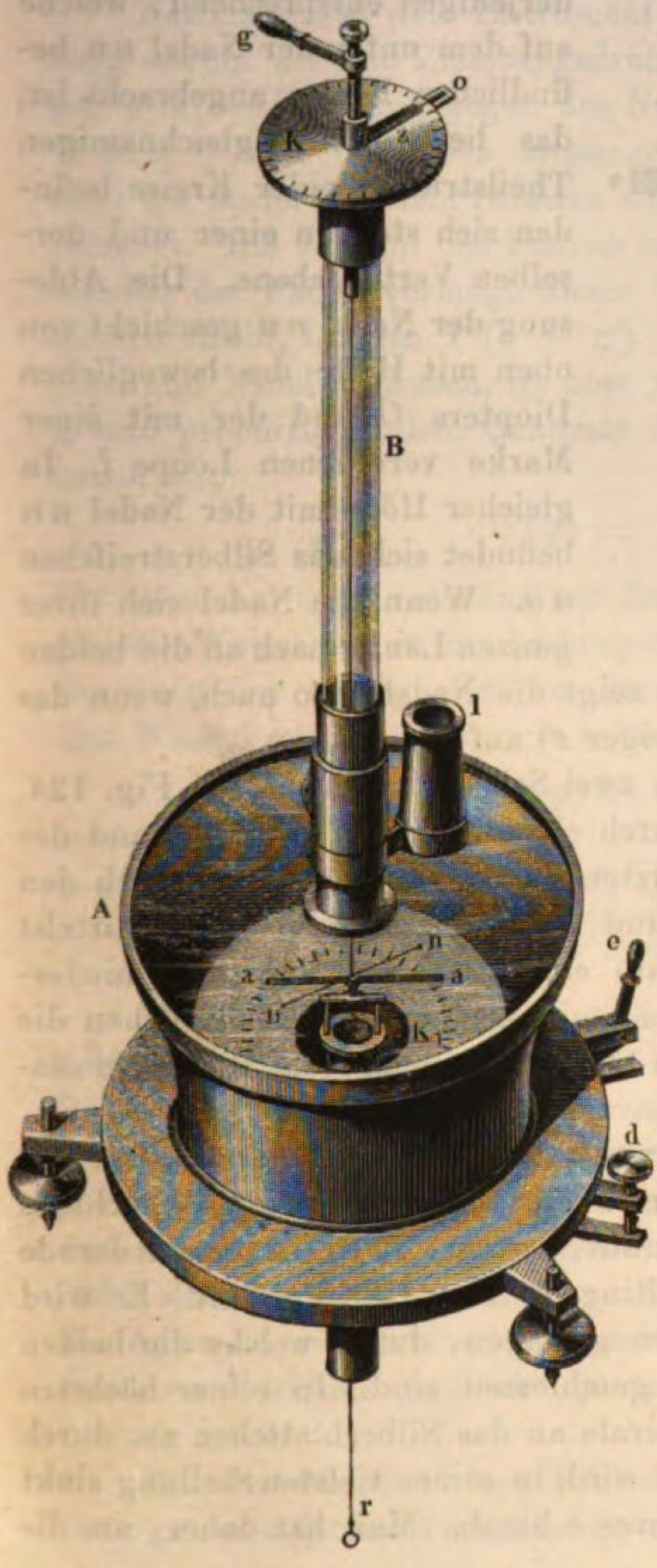


Fig. 122 stellt ein modificirtes Dellmann'sches Elektrometer dar. An einem Conconfaden hängt, mittelst etwas Schellack daran befestigt, ein feines gerades metallenes Stäbchen (Nadel). Es senkt sich mit seiner Mitte in den Ausschnitt eines aus Messing- oder Silberblech verfertigten Streifchens *ab*; die eine Hälfte desselben ist ein klein wenig nach vorn, die andere etwas zurückgebogen, so dass sich die metallische Nadel der Länge nach, und zwar mit seiner einen Hälfte an die eine, mit der anderen an die andere Seite des Streifchens *ab* anlegen kann. Der obere Theil der Vorrichtung wird so gedreht, dass die Nadel durch die Torsion des Fadens an den Streifen *ab* ganz schwach angedrückt wird.

Fig. 123.



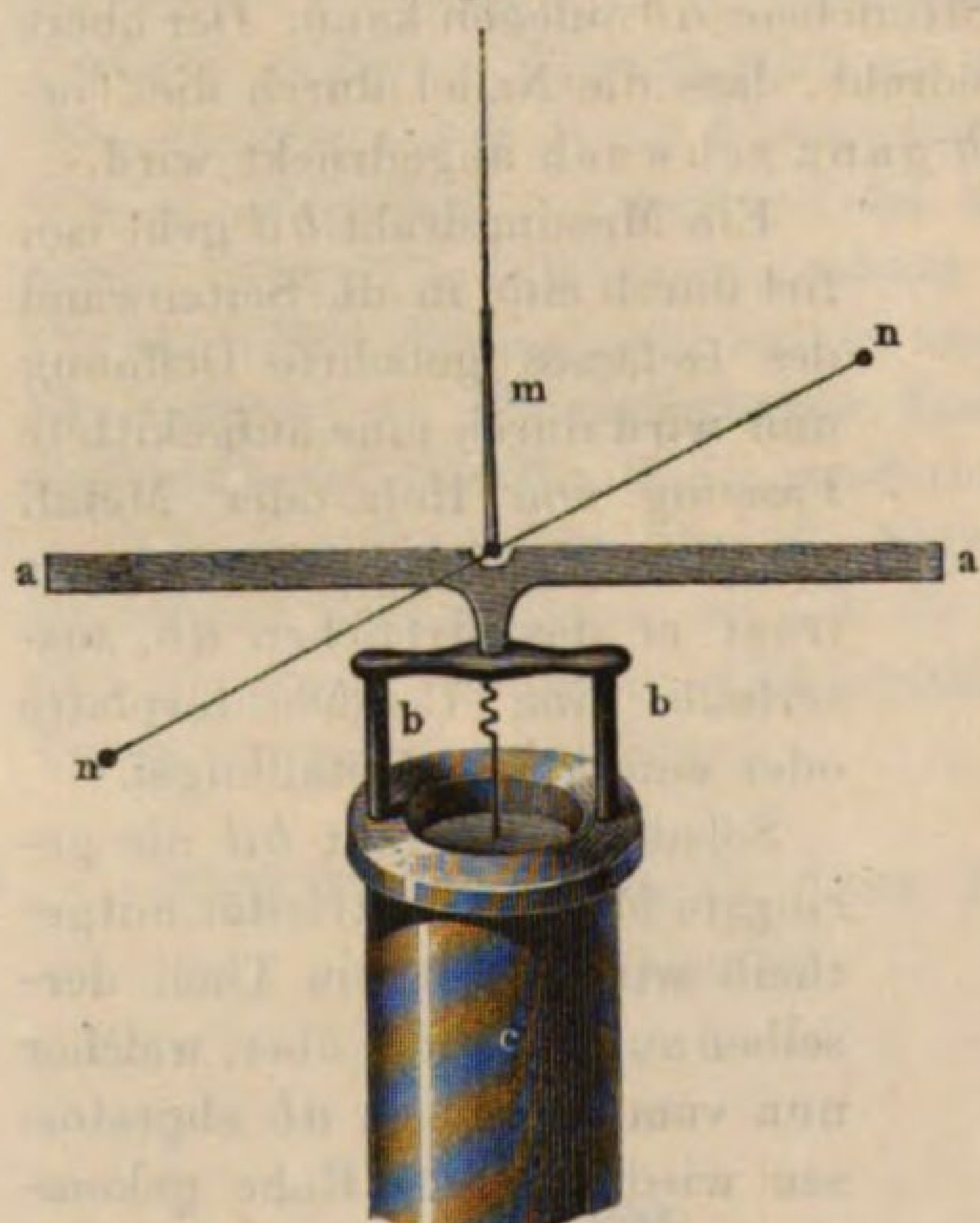
Ein Messingdraht *bd* geht isolirt durch eine in die Seitenwand des Gefässes gebohrte Oeffnung und wird durch eine aufgekittete Fassung von Holz oder Metall gehalten. Innerhalb des Gefässes trägt er das Streifchen *ab*, ausserhalb eine Condensatorplatte oder eine kleine Metallkugel.

Sobald dem Draht *bd* die geringste Menge Elektricität mitgetheilt wird, geht ein Theil derselben auf die Nadel über, welcher nun vom Streifchen *ab* abgestossen wird und, in Ruhe gekommen, einen um so grösseren Winkel mit *ab* macht, je stärker die Ladung war.

Kohlrausch hat das Dellmann'sche Elektrometer in ein Instrument umgewandelt, welches zu den feinsten Messungen geeignet ist (Poggendorff's Annal. Bd. LXXII). Fig. 123 stellt dasselbe dar, wie es gegenwärtig vom Mechanikus Schubert in Marburg (nach dessen Zeichnung Fig. 123 gestochen ist) construirt wird. Das Gehäuse *A*, welches mittelst dreier Stellschrauben auf einem eisernen Gestelle ruht, ist von Metall und hat doppelte Wände, um die durch ungleichmässige Erwärmung im Inneren leicht entstehenden Luftströmungen zu ver-

hüten. Oben ist es durch eine in ihrer Mitte durchbohrte Glasplatte geschlossen, welche das Rohr *B* trägt. Die Nadel *nn* befindet sich ziemlich in der Mitte des Gehäuses. Sie ist äusserst leicht aus Silber gearbeitet und hängt an einem sehr feinen, unten in einen Schellackfaden *m*, Fig. 123, auslaufenden Glasfaden, dessen oberes Ende in der Axe eines durch den getheilten Kreis *K* gehenden, mit dem Zeiger *z* und dem Griff *g* versehenen Stahlcylinder befestigt ist. So lange der Glasfaden ohne Torsion ist, ist der Zeiger *z* mit der Nadel *nn* parallel. Die Theilung des Kreises *K* ist derjenigen entsprechend, welche auf dem unter der Nadel *nn* befindlichen Kreise angebracht ist, das heisst, die gleichnamigen Theilstriche beider Kreise befinden sich stets in einer und derselben Verticalebene. Die Ablesung der Nadel *nn* geschieht von oben mit Hülfe des beweglichen Diopters *O* und der mit einer Marke versehenen Loupe *l*. In gleicher Höhe mit der Nadel *nn* befindet sich das Silberstreifchen *aa*. Wenn die Nadel sich ihrer ganzen Länge nach an die beiden Arme des Streifchens *aa* anlegt, so zeigt die Nadel (also auch, wenn das Instrument ohne Ladung ist, der Zeiger *z*) auf 0⁰.

Fig. 124.



Das Silberstreifchen *aa* ist von zwei Schellacksäulchen *bb*, Fig. 124, getragen, welche auf dem oberen durch einen Ring verstärkten Rand des Messingrohres *c* befestigt sind. Letzteres geht genau passend durch den Boden des Gehäuses *A* hindurch und kann durch einen Hebel mittelst der Schraube *d*, Fig. 123, innerhalb enger Gränzen auf- und niederbewegt werden. In seiner höchsten Stellung berührt das Streifchen die Nadel, während es in seiner tiefsten Stellung ungefähr 1,2 Millimeter davon absteht.

In dem Rohre *c* lässt sich ein zweites Messingrohr mittelst des Hebels *e* auf- und niederbewegen. Dieses innere Rohr trägt den gleichfalls aus Silber verfertigten Zuleitungsdraht, welcher oben in eine federnde Spirale, unten in einen kleinen Ring *r*, Fig. 123, ausläuft. Er wird von zwei dünnen Schellackplättchen getragen, durch welche die beiden Enden des inneren Messingrohres geschlossen sind. In seiner höchsten Stellung legt sich die federnde Spirale an das Silberblättchen an, durch welches das Streifchen *aa* getragen wird, in seiner tiefsten Stellung sinkt es unter den oberen Rand des Rohres *c* hinab. Man hat daher, um die

Nadel, das Streifchen *aa* und den Zuleitungsdraht mit einander in Verbindung zu bringen und das Instrument zu laden, nur die beiden Hebel *d* und *e* niederzudrücken, und das untere Ende *r* des Zuleitungsdrahtes mit der Elektricitätsquelle in Berührung zu bringen. Nachdem die Ladung erfolgt ist, wird das Streifchen *aa* sowohl wie der Zuleitungsdraht wieder gesenkt.

Damit das Streifchen *aa* und die Nadel *nn* ein möglichst grosses Quantum der zu prüfenden Elektricität aufnehmen können, wird anfänglich der Zeiger *z* auf 90° gestellt, so dass die Nadel rechtwinklig zu dem Streifchen steht, und dann erst die Hebung des Streifchens *aa* u. s. w. vorgenommen.

Nachdem man dem Instrument seine Ladung ertheilt und das Streifchen sowohl wie den Zuleitungsdraht wieder gesenkt hat, wird der Zeiger *z* in der Richtung gegen den Nullpunkt hin und dann noch um einen Winkel v über denselben hinausgedreht und dadurch der Winkel, welchen die Nadel mit dem Streifen *aa* macht, auf eine bestimmte Grösse φ reducirt. Die Torsion des Fadens ist nun gleich $(v + \varphi)$, die Kraft, mit welcher der Faden vermöge dieser Torsion die Nadel dem Streifchen zu nähern strebt, ist also $T(v + \varphi)$. — Die Kraft, mit welcher sich Streifchen und Nadel abstossen, ist aber jedenfalls eine Function des Winkels φ und proportional dem Quadrate der Ladung e, also gleich $e^2 f(\varphi)$, wir haben also

$$e^2 f(\varphi) = T(v + \varphi)$$

Hat man nun nach vollständiger Entladung des Apparates demselben in gleicher Weise eine zweite Ladung e' beigebracht, so wird eine Drehung v' des Zeigers *z* nöthig sein, um die Nadel und Stäbchen abermals bis auf den Winkel φ zu nähern, wir haben also

$$e'^2 f(\varphi) = T(v' + \varphi)$$

mithin auch

$$\frac{e}{e'} = \frac{\sqrt{v + \varphi}}{\sqrt{v' + \varphi}}.$$

In den Elektrometern von Oersted und Peltier wird die bewegliche Nadel durch eine magnetische Stahlnadel gebildet, welche beim Oersted'schen Instrument an einem Coconfaden hängt, während sie beim Peltier'schen auf einer Stahlspitze spielt, welche in der Mitte des feststehenden Streifchens aufsitzt. Wenn das Instrument so aufgestellt ist, dass das Streifchen im magnetischen Meridian liegt, so wird die Magnetnadel sich ihrer ganzen Länge nach an das Streifchen anlegen, so lange der Apparat ohne Ladung ist, sie wird aber um so mehr aus dem magnetischen Meridian abgelenkt, je stärker die ihm mitgetheilte elektrische Ladung ist.

Bei der Peltier'schen Einrichtung bleiben Nadel und Streifchen stets in metallischer Verbindung, weshalb dieselbe sehr geeignet ist, um

die allmäligen Aenderungen der Ladung eines mit ihm verbundenen elektrisirten Körpers anzugeben.

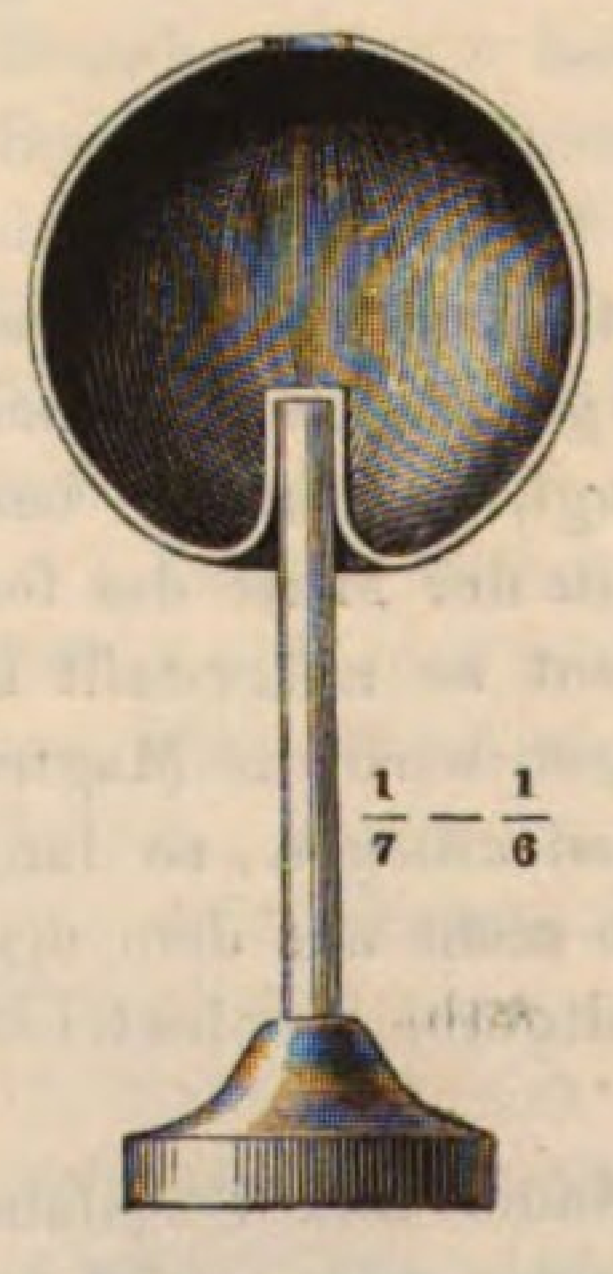
Das zu sehr genauen Messungen geeignete Sinuselektrometer von Kohlrausch (Pogg. Annal. Bd. LXXXVIII) ist aus dem Peltier'schen Instrumente dadurch hervorgegangen, dass Kohlrausch auch den die Nadel abstossenden Metallstreifen um die verticale Axe des Instruments drehbar machte.

47 **Sitz der elektrischen Ladung.** So lange ein Körper sich im natürlichen Zustande befindet, d. h. so lange die beiden elektrischen Fluida noch verbunden sind, sind sie wahrscheinlich ganz gleichförmig in der ganzen Masse der Körper vertheilt. Sobald aber einem isolirten Leiter freie Elektricität mitgetheilt wird, so werden sich die einzelnen Theilchen dieser Elektricität vermöge ihrer gegenseitigen Abstossung möglichst weit von einander zu entfernen streben; die elektrische Ladung kann deshalb nicht in das Innere des Leiters eindringen, sondern sie muss sich auf der Oberfläche desselben verbreiten; hier aber wird ein weiteres Auseinanderweichen der sich abstossenden elektrischen Partikelchen durch die Luft und die anderen Isolatoren verhindert, welche den Leiter von allen Seiten umgeben.

Dass die freie Elektricität sich in der That nur auf der Oberfläche der Leiter und nicht im Inneren derselben verbreitet, beweisen folgende Versuche:

1) Man elektrisire zwei vollkommen gleiche, isolirte, metallene Kugeln *a* und *b*, während sie mit einander in Berührung sind, so wird sich die Elektricität gleichförmig über beide verbreiten. Man trenne sie nun, berühre die Kugel *a* mit einer isolirten Hohlkugel, *b* mit einer ebenso grossen isolirten massiven Kugel, so wird man mit Hülfe des Probescheibchens finden, dass *a* und *b* gleichviel Elektricität verloren haben, die massive Kugel hat also nicht mehr Elektricität weggenommen, als die gleich grosse Hohlkugel.

Fig. 125.



2) Eine isolirte Kugel von Messingblech, welche oben mit einer Oeffnung versehen ist, wie man Fig. 125 im Durchschnitt sieht, werde durch einen Funken der Elektrisirmaschine geladen. Berührt man nun die äussere Fläche der Kugel an irgend einer Stelle mit dem Probescheibchen, so nimmt es eine elektrische Ladung an, wie man mit Hülfe eines Elektroskopes zeigen kann. Berührt man aber mit dem Probescheibchen, indem man es durch die Oeffnung der Hohlkugel in das Innere derselben einführt, eine beliebige Stelle der inneren Kugelfläche, so zeigt es sich nach dem Herausziehen aus der Kugel unelektrisch, vorausgesetzt,

dass man bei dieser Operation die Berührung des Probescheibchens mit den Rändern der Oeffnung vermieden hat.

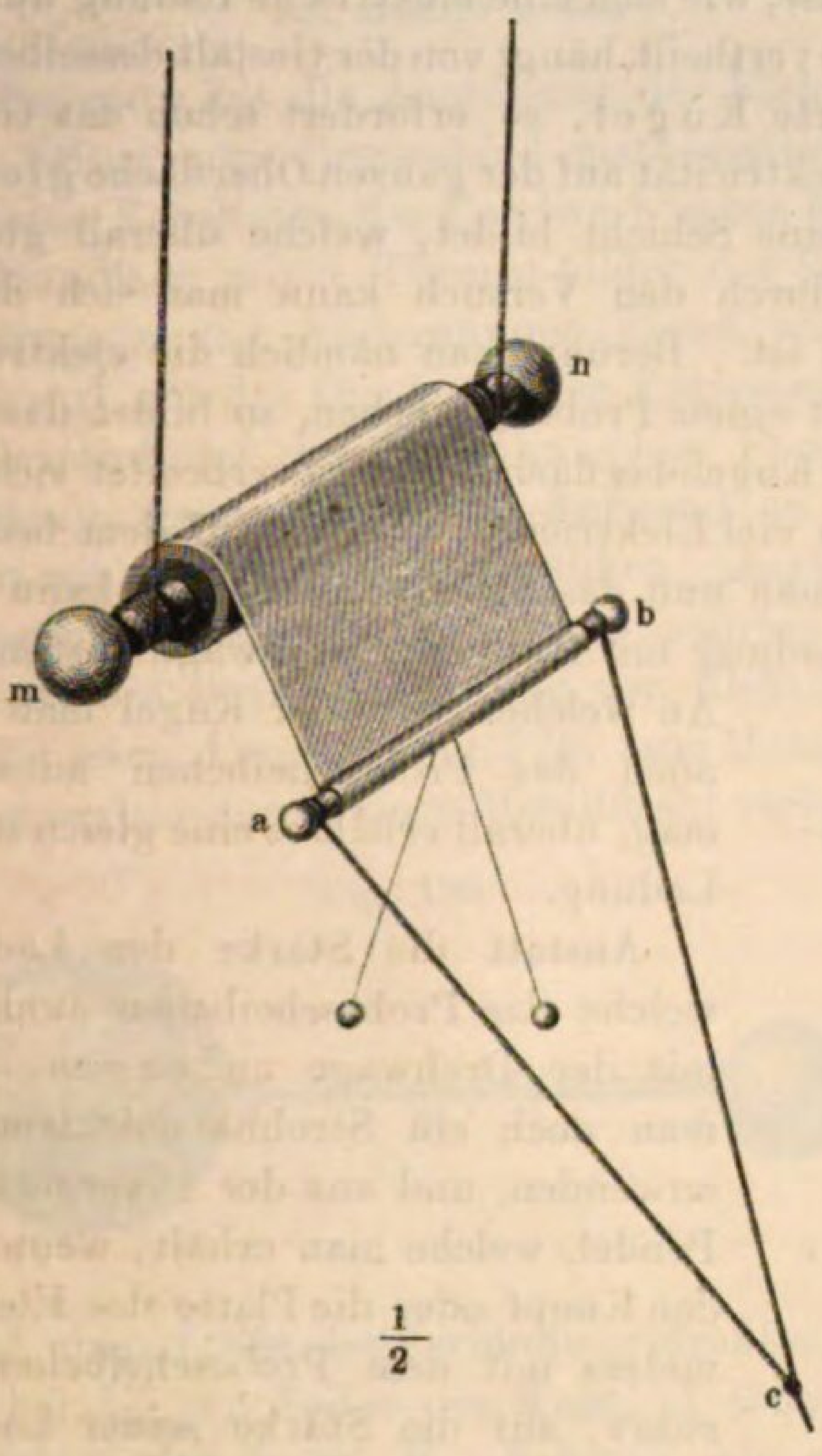
Fig. 126.



Wenn dieser Versuch gelingen soll, muss das Stäbchen, an welchem das Probescheibchen befestigt ist, vollkommen isolirend sein. Ausserdem ist es gut, wenn der Rand der Kugelöffnung mit einem Ringe von Schellack eingefasst ist.

3) Faraday hat diesen Versuch auf eine sinnreiche Weise abgeändert. Auf einen isolirenden Glasfuss, Fig. 126, ist ein Metallring aufgesteckt, an welchem ein konischer Sack von Baumwollengaze, ähnlich einem Schmetterlingsnetz, befestigt ist. Mittelst eines seidenen Fadens, welcher in der Spitze des Kegels festgenäht ist, kann man den Beutel umwenden. Wenn man dem Apparat eine elektrische Ladung mitgetheilt hat, so findet man mit dem Probescheibchen, dass nur die äussere Fläche elektrisch ist. Wendet man nun den Beutel mittelst der Seidenschnur um, so dass die bisher innere Fläche die äussere wird, so findet man, dass die beiden Oberflächen mit ihrer Lage auch ihre Ladung vertauscht haben, dass sich abermals die elektrische Ladung nur auf der äusseren Oberfläche befindet.

Fig. 127.



4) Ein Metallcylinder *mn*, auf beiden Seiten mit etwas dünneren, in Knöpfen endigenden Fortsätzen versehen, hängt, wie Fig. 127 zeigt, an zwei seidenen Schnüren. Auf den mittleren dickeren Theil dieses Cylinders ist seiner ganzen Breite nach ein ungefähr 1 Fuss langer Streifen von echtem Gold-

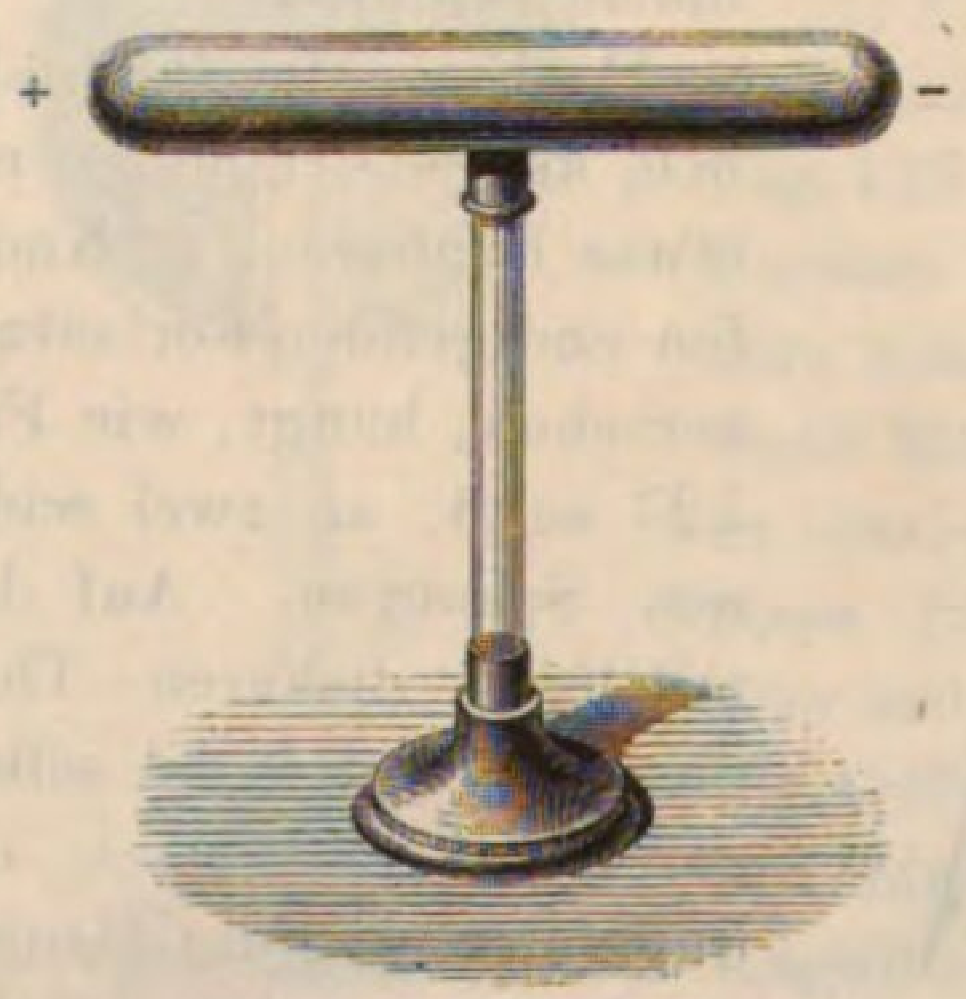
papier aufgeklebt, dessen freies Ende an ein Glasstäbchen *ab* befestigt ist. Dieser Goldpapierstreifen ist mehrmals um den Metallcylinder herumgewickelt. Zieht man an den Schnüren *ca* und *cb*, so wird sich der Papierstreifen von dem Cylinder abwickeln, während dadurch gleichzeitig die Schnüre, an denen der Cylinder hängt, aufgewunden werden, wodurch der Cylinder selbst gehoben wird. Lässt man bei *c* wieder nach, so sinkt der Metallcylinder von selbst durch sein Gewicht herab, wodurch dann der Goldpapierstreifen wieder aufgewickelt wird.

In der Mitte von *ab* hängt ein elektrisches Pendelpaar, Hollundermarkkügelchen an leinenen Fäden. Ist das Goldpapier ganz auf den Messingcylinder aufgewickelt, so werden die Pendel divergiren, wenn man dem Apparat eine elektrische Ladung ertheilt. Zieht man jetzt bei *c*, so dass der Streifen abgewickelt wird, so vermindert sich die Divergenz der Pendel, weil sich jetzt die Elektricität auf einer grösseren Oberfläche verbreitet. Lässt man bei *c* nach, so wird die metallische Oberfläche durch das Aufwickeln des Streifens wieder verkleinert und die Pendel gehen wieder mehr auseinander.

48 **Anordnung der Elektricität auf der Oberfläche isolirter Leiter.** Die Art und Weise, wie sich eine elektrische Ladung auf der Oberfläche eines isolirten Leiters vertheilt, hängt von der Gestalt desselben ab.

Elektrisirt man eine isolirte Kugel, so erfordert schon das Gesetz der Symmetrie, dass sich die Elektricität auf der ganzen Oberfläche gleichförmig verbreitet, dass sie eine Schicht bildet, welche überall gleiche Dichtigkeit hat. Aber auch durch den Versuch kann man sich davon überzeugen, dass es wirklich so ist. Berührt man nämlich die elektrisirte Kugel an irgend einer Stelle mit einem Probescheibchen, so bildet dasselbe hier gleichsam ein Element der Kugeloberfläche, und es verbreitet sich auf dem Probescheibchen gerade so viel Elektricität, als sich auf dem bedeckten Kugelstücke befand; hebt man nun das Scheibchen ab, so kann man die Stärke seiner elektrischen Ladung mit Hülfe der Drehwage bestimmen.

Fig. 128.



An welcher Seite der Kugel man aber auch das Probescheibchen aufsetzen mag, überall erhält es eine gleich starke Ladung.

Anstatt die Stärke der Ladung, welche das Probescheibchen annimmt, mit der Drehwage zu messen, kann man auch ein Strohhalmelektrometer anwenden, und aus der Divergenz der Pendel, welche man erhält, wenn man den Knopf oder die Platte des Elektrometers mit dem Probescheibchen berührt, auf die Stärke seiner Ladung schliessen.

Wenn der isolirte Leiter, den man elektrisirt, nicht kugelförmig ist, so findet auch keine gleichmässige Vertheilung der Elektricität statt, d. h. die elektrische Schicht, welche sich über den Körper verbreitet, hat nicht überall gleiche Dichtigkeit. So fand z. B. Coulomb, als er mit Hülfe des Probescheibchens die Stärke der elektrischen Ladung an verschiedenen Stellen eines metallischen, an beiden Enden kugelförmig abgerundeten isolirten Cylinders, Fig. 128, von 8 Zoll Länge und 2 Zoll Durchmesser untersuchte,

die Ladung	1	in der Mitte
" "	1,25	2 Zoll vom Ende
" "	1,80	1 " " "
" "	2,30	am Ende selbst.

Von der Mitte ausgehend, ändert sich also anfangs die Intensität nur wenig, nimmt aber nahe an den Enden in einem raschen Verhältniss zu.

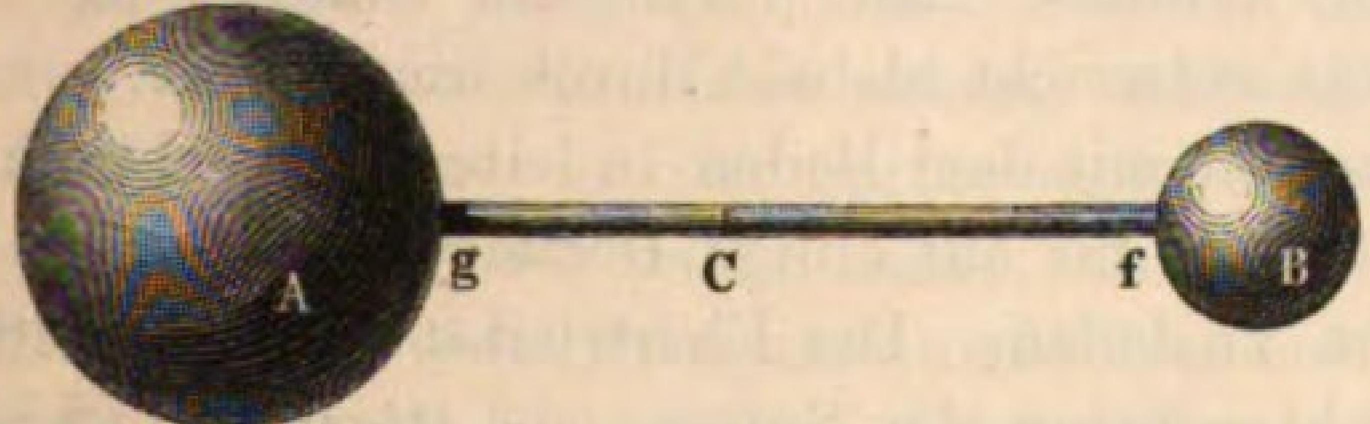
An einer isolirten, kreisförmigen metallischen Scheibe von $7^1/_2$ Zoll Durchmesser und 10 Linien Dicke fand Coulomb die elektrische Ladung

in der Mitte	1
1 Zoll vom Rande	1,5
am Rande selbst	2,9

Poisson hat die Anordnung der Elektricität auf der Oberfläche isolirter Leiter zum Gegenstand mathematischer Untersuchungen gemacht, mit deren Resultaten die Coulomb'schen Versuche genügend harmoniren. Die Grundlage seiner Theorie bildet der Satz, dass sich die elektrischen Anziehungen und Abstossungen direct wie die Elektricitätsmengen und umgekehrt wie das Quadrat ihrer Entfernung verhalten. Ohne weiter auf die Besprechung der Poisson'schen Formeln einzugehen, deren Entwickelung einen ziemlichen Aufwand an höherer Rechnung erfordert, wollen wir uns darauf beschränken, anschaulich zu machen, warum auf den hervorragenden Partien eines isolirten und elektrisirten Leiters eine vorzugsweise starke Anhäufung von Elektricität stattfinden muss.

Es seien *A* und *B*, Fig. 129, zwei Metallkugeln von ungleichem Durchmesser, welche durch einen Metalldraht verbunden sind. Das ganze System sei isolirt und demselben eine Ladung positiver oder negativer Elektricität mitgetheilt, so wird nur dann ein Gleichgewichtszustand dieser elektrischen Ladung stattfinden, wenn ein elektrisches Partikelchen an irgend einer Stelle des Verbindungsdrahtes, etwa ein elektrisches Partikelchen bei *C*, von Seiten der Kugel *A* eben so stark abgestossen wird wie von Seiten der Kugel *B*. Nehmen wir an, der Punkt *C* liege in der

Fig. 129.



Mitte zwischen den Mittelpunkten der Kugeln *A* und *B*, so wird bei genügender Länge des Verbindungsdrahtes für den Fall des Gleichgewichts, die Gesammtmenge der Elektricität, welche über die Oberfläche der Kugel *A* verbreitet ist, nahezu eben so gross sein müssen, wie die über *B* verbreitete. Daraus folgt aber, dass die Dichtigkeit der Elektricität auf *B* n^2mal so gross sein müsse als die auf *A*, wenn der Durchmesser der Kugel *A* nmal grösser ist als der der Kugel *B*.

Wäre z. B. der Durchmesser der Kugel *B* 2 Centimeter, der der Kugel *A* 8 Centimeter, so würde (wenn die Mittelpunkte der beiden Kugeln nicht unter 25 Centimeter von einander entfernt sind) die Dichtigkeit der Elektricität auf der kleinen Kugel ungefähr 16mal grösser sein als auf der grossen.

Wir haben bei dieser Betrachtung die Elektricität vernachlässigt, welche über den die beiden Kugeln verbindenden Draht verbreitet ist. Es ist dies nur so lange zulässig, als auch der Durchmesser der kleineren Kugel *B* noch bedeutend ist gegen den des Drahtes. — Jedenfalls ist klar, dass die Dichtigkeit auf der Kugel *B* um so mehr wachsen muss, je kleiner ihr Durchmesser wird. Denken wir uns dieselbe endlich ganz entfernt, so muss die Wirkung, welche die über das Drahtstück *Cf* verbreitete Elektricität auf ein elektrisches Partikelchen in *C* ausübt, derjenigen das Gleichgewicht halten, welche von der über die ganze Kugel *A* und das Drahtstück *Cg* verbreiteten ausgeht; es ist also klar, dass auf der kleinen Oberfläche des Drahtstücks *Cf* eine bedeutende und zwar gegen *f* hin wachsende Anhäufung von Elektricität stattfinden muss.

49 **Elektrische Wirkung der Spitzen und Flammen.** Es geht aus den Betrachtungen des vorigen Paragraphen hervor, dass, wenn man an einem isolirten Leiter eine Spitze anbringt, die Elektricität an dieser Spitze eine ausserordentliche Dichtigkeit haben muss. Je dichter aber die Elektricität in einem Punkte ist, desto eher wird sie den Widerstand der Luft, welche sie auf dem Körper zurückzuhalten strebt, überwinden können. Daher kommt es, dass aus Spitzen die Elektricität so leicht ausströmt, wie es auch die folgenden Versuche bestätigen.

1. Wenn man den Conductor einer Elektrisirmaschine mit einer Spitze versieht, so ist es unmöglich, den Conductor so zu laden, dass man aus ihm kräftige Funken ziehen könnte. Alle durch die Umdrehung der Maschine erzeugte Elektricität entweicht alsbald durch die Spitze.

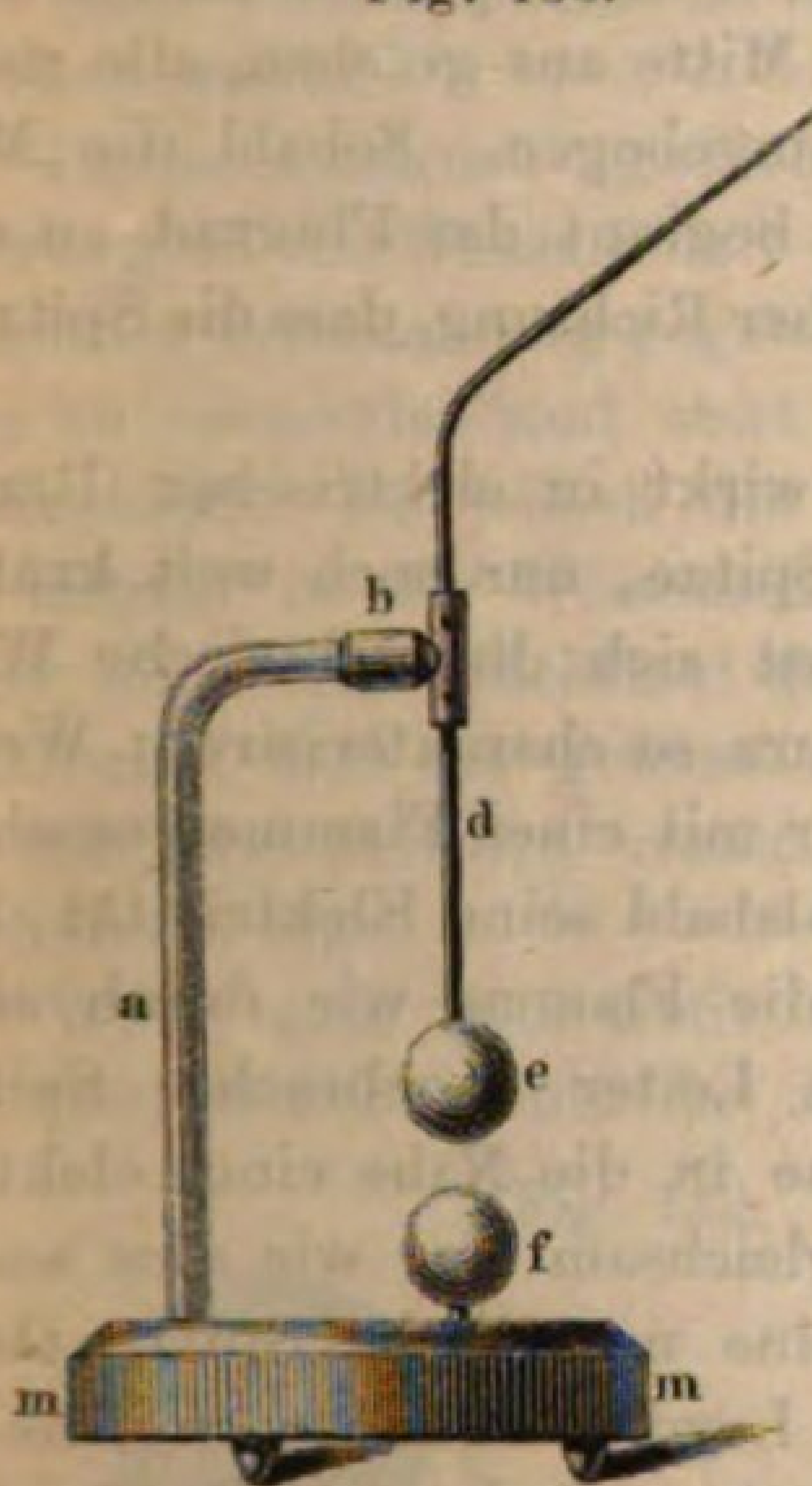
2. Wenn man eine Spitze, die mit dem Boden in leitender Verbindung steht, dem Conductor der Maschine bis auf einige Decimeter nähert, so ist es gleichfalls unmöglich, ihn zu laden. Die Elektricität des Conductors zerlegt die verbundenen Elektricitäten der Spitze, sie stösst die gleichnamige ab und zieht die ungleichnamige an; diese ungleichnamige Elektricität häuft sich in der Spitze so stark an, dass sie nach dem Conductor überströmt, um seine Elektricität zu neutralisiren.

Sehr schön lässt sich die elektrische Wirkung der Spitzen durch den

Apparat Fig. 130 darstellen. Am unteren Ende des oben zugespitzten Messingdrahtes *cd* ist eine hohle Messingkugel *e* befestigt, welche ungefähr 1 Zoll Durchmesser hat. Dieser Draht steckt in einer federnden Hülse, welche durch die gläserne Säule *a* getragen wird. In demselben Brettchen, in welchem die Glassäule *a* befestigt ist, steckt auch ein kurzer Messingstift, welcher eine zweite, der oberen gerade gegenüberstehende Metallkugel *f* trägt.

Wird *f* durch Anhängen einer Metallkette mit dem Boden in leitende Verbindung gesetzt und die Spitze *c* dem Conductor einer in Thätigkeit gesetzten Elektrisirmaschine genähert, so kann man auf demselben keine merkliche Ladung hervorbringen. Schiebt man den Draht *cd* so weit herab, dass die Kugeln *e* und *f* sich berühren, so findet ein continuirliches Wegströmen der vom Conductor abgestossenen Elektricität in den Boden und ein ebenso beständiges Ausströmen der von ihm angezogenen Elektricität aus der Spitze zum Conductor statt. — Sobald man aber den Draht *cd* etwas in die Höhe zieht, so dass ein Zwischenraum zwischen den Kugeln *e* und *f* ist, so findet zwar noch ein beständiges Ausströmen von der Spitze *c* nach dem Conductor statt, die abgestossene Elektricität wird aber in der Kugel *e* angehäuft, bis sie eine hinlängliche Dichtigkeit erlangt, um ein Ueberschlagen von Funken zwischen *e* und *f* zu bewirken. Die Funken folgen um so langsamer, sie sind aber auch um so kräftiger, je weiter die Kugeln *e* und *f* von einander abstehen.

Fig. 130.



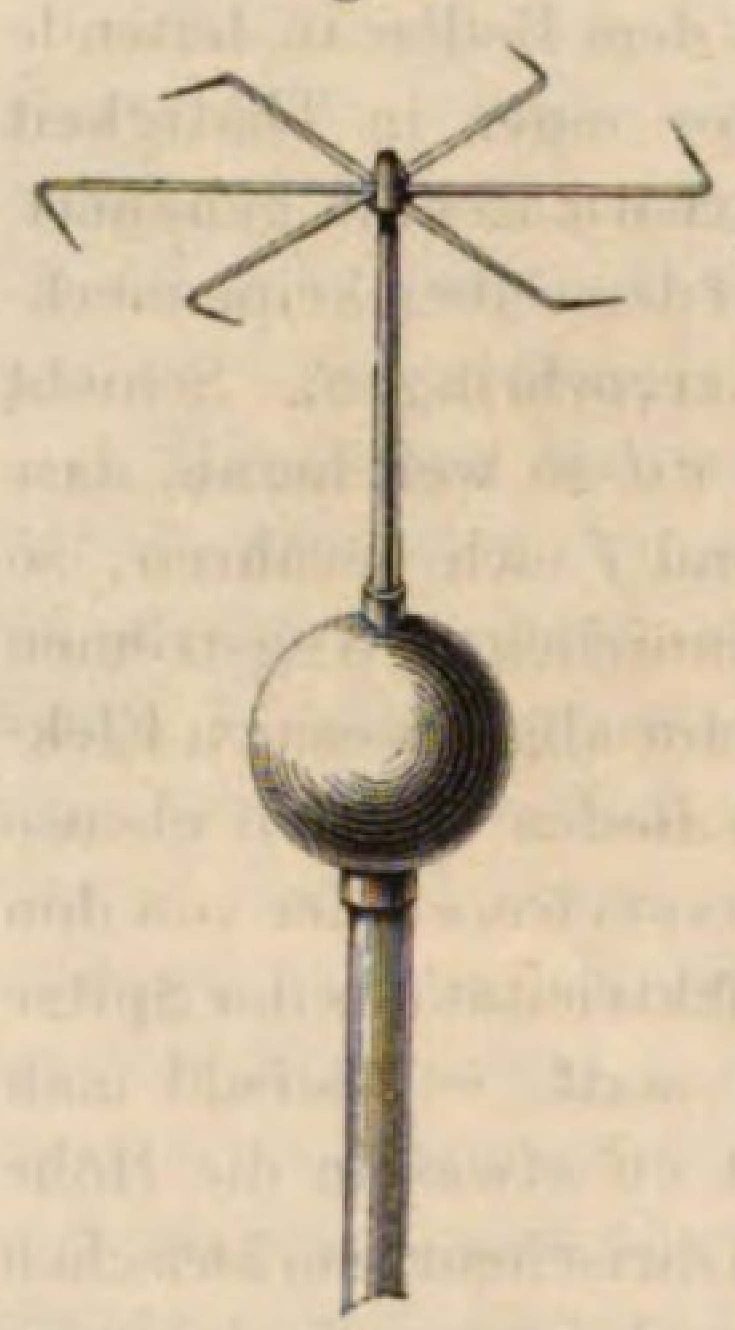
Winkel und scharfe Kanten, die sich an leitenden Körpern befinden, wirken ganz auf dieselbe Weise wie die Spitzen. Man muss deshalb sorgfältig alle eckigen Formen vermeiden, wenn man Apparate construiren will, welche bestimmt sind, die Elektricität zu halten.

Wenn man einer auf dem Conductor der Elektrisirmaschine aufgesetzten Metallspitze die Hand nähert, während die Maschine gedreht wird, so fühlt man den von der Spitze ausströmenden elektrischen Wind, welcher ohne Zweifel daher rührt, dass der isolirende Widerstand der Lufttheilchen, welche die Spitze umhüllen, bei der grossen Dichtigkeit der hier angehäuften Elektricität nicht mehr genügend ist. Ein Theil der elektrischen Ladung geht auf die benachbarten Lufttheilchen über, welche alsdann von der gleichnamig geladenen Spitze lebhaft abgestossen werden.

Man kann den elektrischen Wind dadurch sichtbar machen, dass man der Spitze, von welcher er ausgeht, eine Kerzenflamme nähert.

Wenn die elektrische Spitze selbst beweglich ist, so muss sie sich, vermöge der zwischen ihr und den abströmenden Lufttheilchen stattfindenden Abstossung selbst bewegen und zwar in einer dem elektrischen Winde entgegengesetzten Richtung. Darauf beruht die Drehung des elektrischen Flugrades, Fig. 131, welche der Rotation des Segner'schen Wasserrades ganz analog ist. Auf eine Stahlspitze, welche mit dem Conductor der Elektrisirmaschine in leitender Verbindung steht, ist ein aus Metalldrähten gebildetes, leicht in horizontaler Ebene umdrehbares Rädchen aufgesetzt. Die zugespitzten Enden der Drähte sind, von der Mitte aus gesehen, alle nach derselben Richtung umgebogen. Sobald die Maschine gedreht wird, beginnt das Flugrad zu rotiren, und zwar in solcher Richtung, dass die Spitzen zurückweichen.

Fig. 131.



Eine Flamme wirkt in elektrischer Beziehung ganz wie eine Spitze, nur noch weit kräftiger. In der That lässt sich die elektrische Wirkung der Flammen kurz so charakterisiren: Wenn ein elektrisirter Leiter mit einer Flamme versehen wird, so verliert er alsbald seine Elektricität, indem dieselbe durch die Flamme wie durch eine auf dem elektrisirten Leiter angebrachte Spitze ausströmt; bringt man dagegen eine Flamme in die Nähe eines elektrischen Körpers, so saugt sie die Elektricität gleichsam ein, wie dies auch, wenn gleich in weit geringerem Maasse, eine metallische Spitze thut. Setzt man eine Flamme auf den Knopf einer Leydener Flasche, welche in der Nähe einer gedrehten Elektrisirmaschine steht, so ladet sich die Flasche, als ob man den Knopf derselben mit dem Conductor derselben verbunden hätte. — Volta brachte brennenden Schwamm an seinen Elektroskopen an, um gleichsam die Luftelektricität einzusaugen.

Schon Gilbert und Kircher kannten die elektrische Wirkung der Flammen; Priestley bewies durch Versuche, dass die Flamme die Elektricität leite, und Volta verglich zuerst die elektrische Wirkung der Flammen mit der Wirkung metallischer Spitzen; doch waren seine Ansichten über die Wirkung der Spitzen selbst zum Theil irrig, indem er glaubte, dass das Ausströmen der Elektricität sowohl wie das Einsaugen derselben eine Folge des elektrischen Windes sei. Riess aber, welcher die Wirkung der Flammen auf das Vollständigste studirt hat (siehe Pogg. Annal. Bd. LXI. und Riess „die Lehre von der Reibungselektricität", Berlin 1853), wies nach, dass die elektrische Wirkung der Flammen auch unter solchen Umständen eintritt, wo die Anhäufung der Elektricität viel zu gering ist, um einen elektrischen Wind veranlassen zu können.

Die eben besprochene Wirkung der Flammen erklärt sich durch den Umstand, dass von der Flamme aus gewissermaassen elektrisch leitende

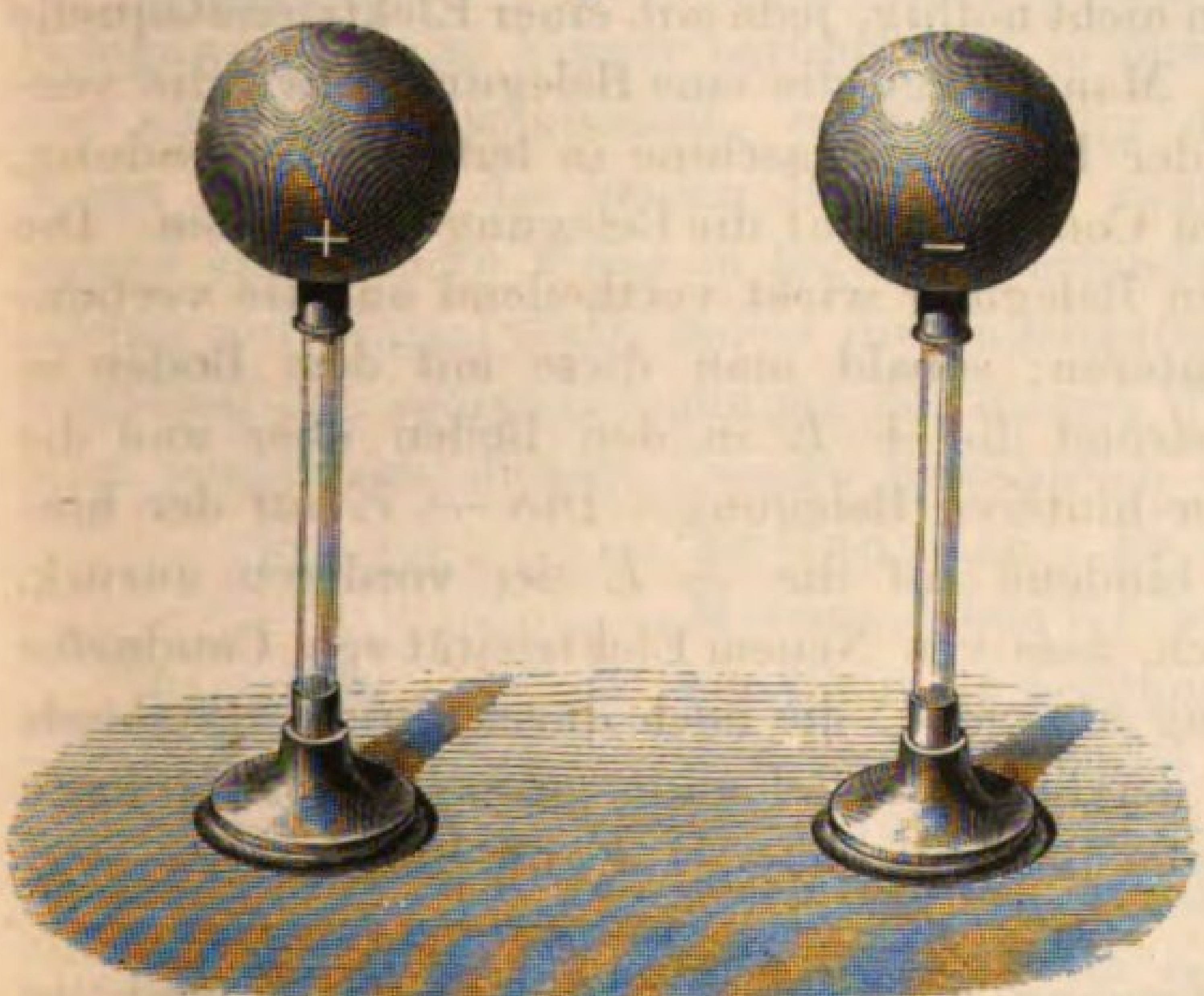
Dampfspitzen aufsteigen, welche an Feinheit alle metallene Spitzen weit übertreffen.

Gebundene Elektricität. Das Wesen der gebundenen Elektricität ist bereits oben S. 92 dargelegt worden. Es wurde daselbst erwähnt, dass die gebundene Elektricität durchaus keine Eigenschaften besitze, welche sie von der freien Elektricität specifisch unterschiede, dass sie alle Eigenschaften der gewöhnlichen theile, dass sie nur durch die Nachbarschaft einer Quantität Elektricität des entgegengesetzten Zeichens nach einer bestimmten Stelle hingezogen, an dieser angehäuft und zurückgehalten werde. 50

Da der Ausdruck „gebundene Elektricität“, welcher durch Lichtenberg in die Wissenschaft eingeführt wurde, zu mancherlei verkehrten Ansichten Veranlassung gegeben hat, so schlug Riess vor, diesen Ausdruck ganz zu vermeiden und statt dessen den Namen Influenzelektricität einzuführen. Da jedoch die Bezeichnung „gebundene Electricität“ nun einmal in der Wissenschaft eingebürgert ist, so mag sie wohl auch ferner noch ohne Nachtheil gebraucht werden, wenn durch die bestimmte Erklärung, dass die gebundene Elektricität keine besondere Eigenschaft vor der gewöhnlichen voraus habe, alle etwaigen Missverständnisse abgeschnitten sind.

Wenn man zwei isolirte Leiter, etwa zwei isolirte Messingkugeln, Fig. 132, so neben einander aufstellt, dass sie noch durch eine Luftschicht von einander getrennt sind und dann die eine mit positiver, die andere mit negativer Elektricität ladet, so kann man abwechselnd die eine und dann wieder die andere mit dem Boden in leitende Verbindung bringen, ohne dass alle Elektricität abgeleitet wird. Die Elektricität auf der einen Kugel wird nämlich durch die entgegengesetzte Elektricität auf der anderen angezogen, sie ist wenigstens zum Theil gebunden und kann deshalb nicht entfernt werden. Je näher die beiden Elektricitäten einander gebracht werden, desto stärker ziehen sie sich an, desto vollständiger ist also auch ihre gegenseitige Bindung; wenn aber die beiden Leiter nur durch eine Luftschicht getrennt sind, so kann man sie bei einigermaassen starker Ladung nicht sehr nähern, ohne dass die Luftschicht durchbrochen wird und ein Funken überspringt. Wenn also die

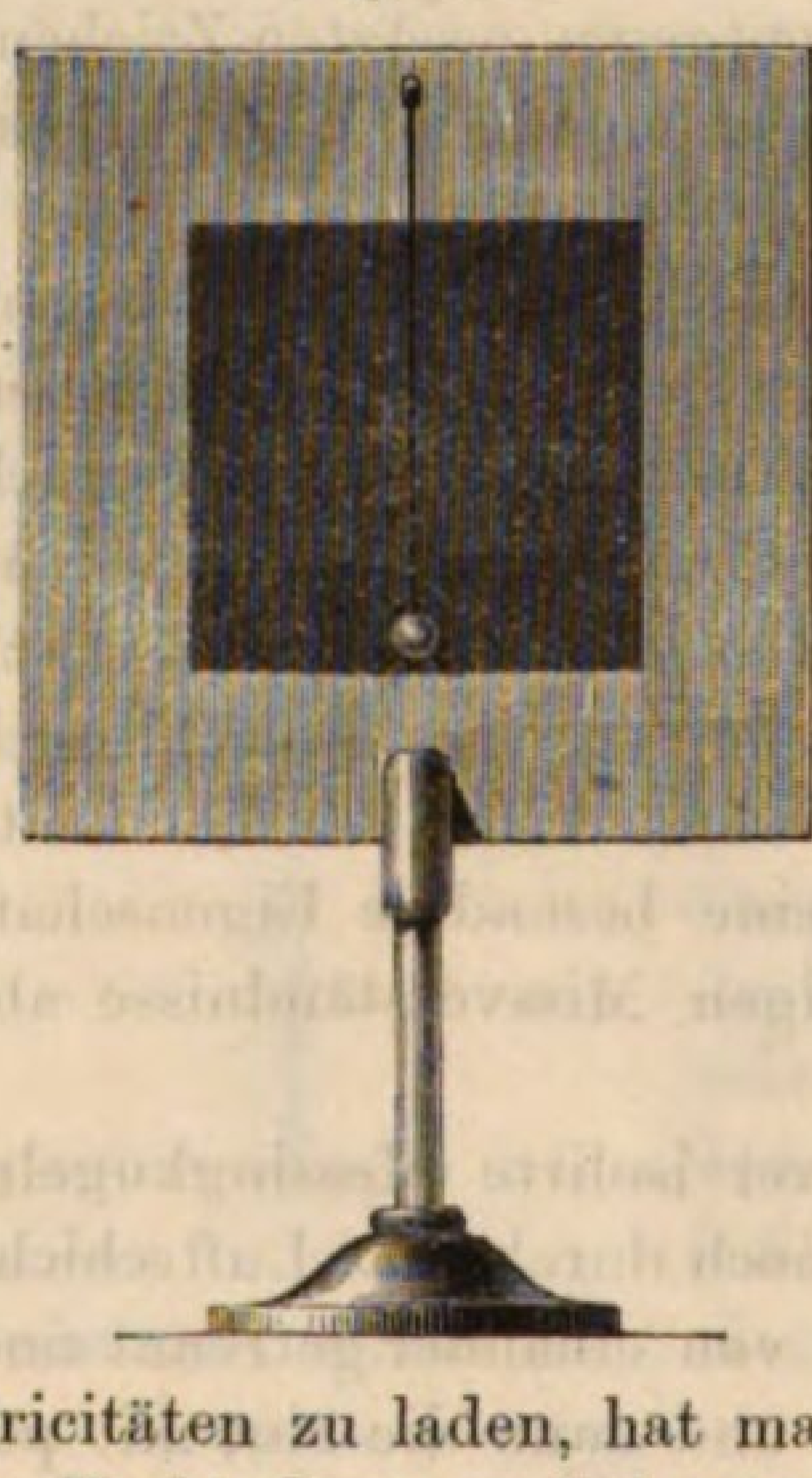
Fig. 132.



Bindung möglichst vollkommen sein soll, so müssen die beiden mit entgegengesetzten Elektricitäten geladenen Leiter nicht durch Luft, sondern durch einen anderen Isolator getrennt sein, welcher dem Uebergange der Elektricität einen grösseren Widerstand entgegensetzt; man wählt dazu am besten Glas oder Harz.

Um die Erscheinungen der gebundenen Elektricität näher zu untersuchen, kann man die Franklin'sche Tafel (Ladungsscheibe) benutzen. Fig. 133 stellt eine Glastafel vor, deren Seiten ungefähr 1 Fuss lang sind. In der Mitte ist die Glastafel auf jeder Seite mit Stanniol belegt, so dass das Glas an dem Rande ungefähr handbreit frei bleibt. Um die unbelegten Stellen des Glases besser isolirend zu machen, kann man sie mit Firniss überstreichen. Wenn man nun die vordere Belegung mit positiver, die hintere mit negativer Elektricität ladet, so sind die beiden entgegengesetzten Elektricitäten einander sehr nahe, sie sind nur durch eine Glasscheibe getrennt, die sie jedoch nicht zu durchbrechen im Stande sind; die Bindung wird also hier ziemlich vollständig stattfinden.

Fig. 133.

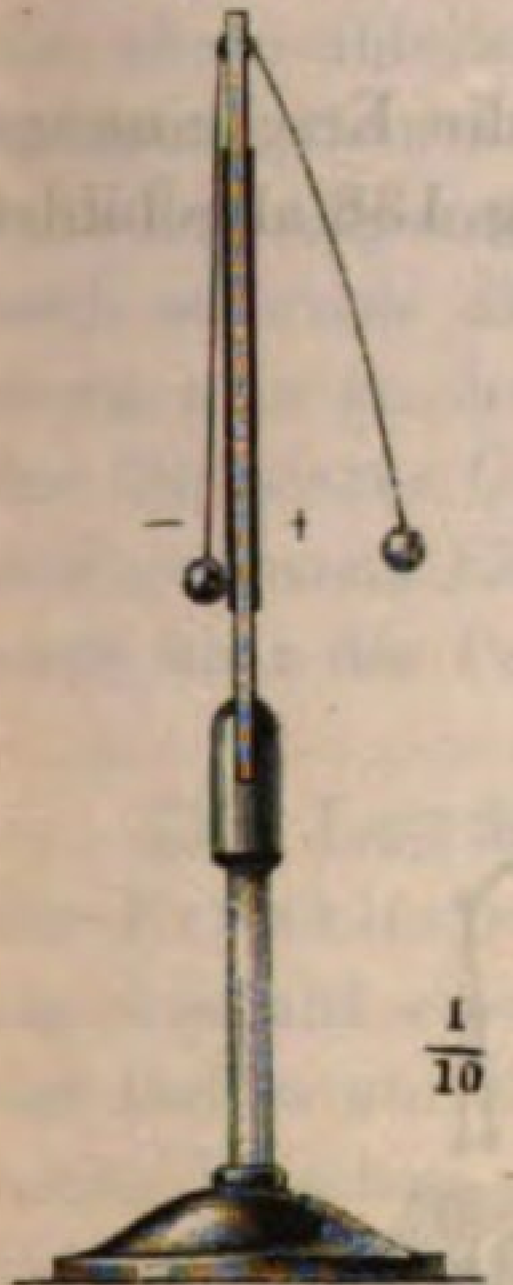


Um die beiden Belegungen der Franklin'schen Tafel mit den entgegengesetzten Elektricitäten zu laden, hat man nicht nöthig, jede mit einer Elektricitätsquelle in Verbindung zu bringen. Man bringe die eine Belegung, etwa die vordere, mit dem Conductor der Elektrisirmaschine in leitende Verbindung, so wird ein Theil $+ E$ vom Conductor auf die Belegung übergehen. Die Elektricität auf der vorderen Belegung wirkt vertheilend auf die verbundenen Elektricitäten der hinteren; sobald man diese mit dem Boden in leitende Verbindung setzt, strömt die $+ E$ in den Boden über und die $- E$ verbreitet sich auf der hinteren Belegung. Die $- E$ auf der hinteren Belegung wirkt aber bindend auf die $+ E$ der vorderen zurück, und dadurch wird es möglich, dass von Neuem Elektricität vom Conductor aus auf die vordere Belegung übergeht, die auch durch ihre vertheilende Kraft wieder die $- E$ auf der hinteren Belegung vermehrt. Man kann auf diese Weise leicht die eine Belegung mit $+ E$, die andere mit $- E$ laden.

So klein auch die Entfernung der beiden Belegungen sein mag, so ist doch die gegenseitige Bindung nicht vollständig. Damit auf der ableitend berührten Rückseite die Elektricität vollständig gebunden sei, muss auf der Vorderseite ein Ueberschuss von Elektricität, also freie Elektricität vorhanden sein, welche man auf folgende Art leicht nachweisen kann. Man befestige mit etwas Wachs auf jeder Seite der Tafel ein leichtes elektrisches Pendel in der Weise, wie man in Fig. 134

sieht, welche die Scheibe des Apparates Fig. 133 im Durchschnitt zeigt. Auf der Seite, auf welcher freie Elektricität sich befindet, wird das Pendel abgestossen, während es auf der anderen Seite gerade herunterhängt und mit der Belegung in Berührung bleibt. Berührt man die Seite, auf welcher sich freie Elektricität befindet, so fällt das Pendel nieder, während das auf der anderen Seite steigt. Man kann also durch abwechselndes Berühren auf der einen und auf der anderen Seite abwechselnd das eine und das andere Pendel steigen machen.

Fig. 134.



Diese Erscheinung mit den Pendeln lässt sich leicht erklären. Wenn auf der einen Seite ein Ueberschuss von $+E$ ist, so wirkt sie anziehend sowohl auf die $-E$ der anderen Belegung, als auch auf die wenige $-E$, die sich im Kügelchen der anderen Belegung befindet. Freilich wirkt die $-E$ der hinteren Belegung abstossend auf die $-E$ im Kügelchen, aber die Kraft, mit welcher der Ueberschuss der $+E$ das negative Kügelchen anzieht, ist grösser als die Kraft der Abstossung. Leitet man aber die überschüssige $+E$ ab, so verbreitet sich die freigewordene $-E$ zum Theil über das Kügelchen, welches nun abgestossen wird, weil jetzt kein Ueberschuss von $+E$ auf der anderen Seite mehr vorhanden ist, welcher es zurückhalten könnte.

Dadurch, dass man abwechselnd die eine und dann wieder die andere Belegung mit dem Finger berührt und so immer die freie Elektricität auf der einen Seite wegnimmt, wird allmälig der Apparat ganz entladen. Wenn man aber die beiden Belegungen zugleich berührt oder sie auf irgend eine andere Weise in leitende Verbindung setzt, so findet die Entladung auf einmal statt, indem die angehäuften entgegengesetzten Elektricitäten der beiden Belegungen auf diesem Wege zu einander übergehen. Man wendet zu diesem Zwecke gewöhnlich den Fig. 135 dargestellten Entlader an. Er besteht aus zwei gebogenen Messingstäben bc und $b'c$, welche bei c durch ein Charnier verbunden sind. Jeder der Arme des Ausladers endet mit einer kleinen Messingkugel (b und b') und ist ausserdem noch mit einem isolirten Handgriff (m und m') versehen. Man berührt die eine Belegung mit der einen Kugel und nähert die andere Kugel der gegenüberstehenden Belegung. Schon in einiger Entfernung springt ein Funken mit lebhaftem Licht und lautem Knacken über.

Fig. 135.

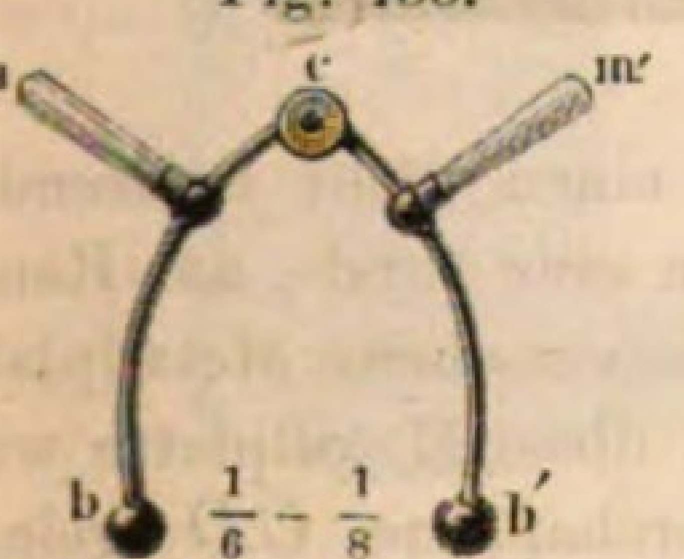


Fig. 136 (a. f. S.) zeigt eine andere Form des Ausladers, mit nur einem Glasgriff m, welche noch mehr verbreitet ist als die zuerst besprochene. Auch hier ist c ein Charnier, um welches die beiden Arme cb und

ca gedreht werden können, so dass man den Abstand der Kugeln *a* und *b* nach Bedürfniss grösser oder kleiner machen kann.

Den bequemsten und einfachsten Auslader, Fig. 137, bildet ein gegen 2 Millimeter dicker, etwas über 1 Meter langer Kupferdraht, welcher mit einer starken Hülle von Guttapercha umgeben ist und dessen Enden mit Messingkugeln von ungefähr $1\frac{1}{2}$ Centimeter Durchmesser versehen sind.

Ein anderer Apparat, welcher sehr geeignet ist, die Erscheinungen der gebundenen Elektricität nachzuweisen, ist der in Fig. 138 abgebildete.

Fig. 136.



Fig. 138.

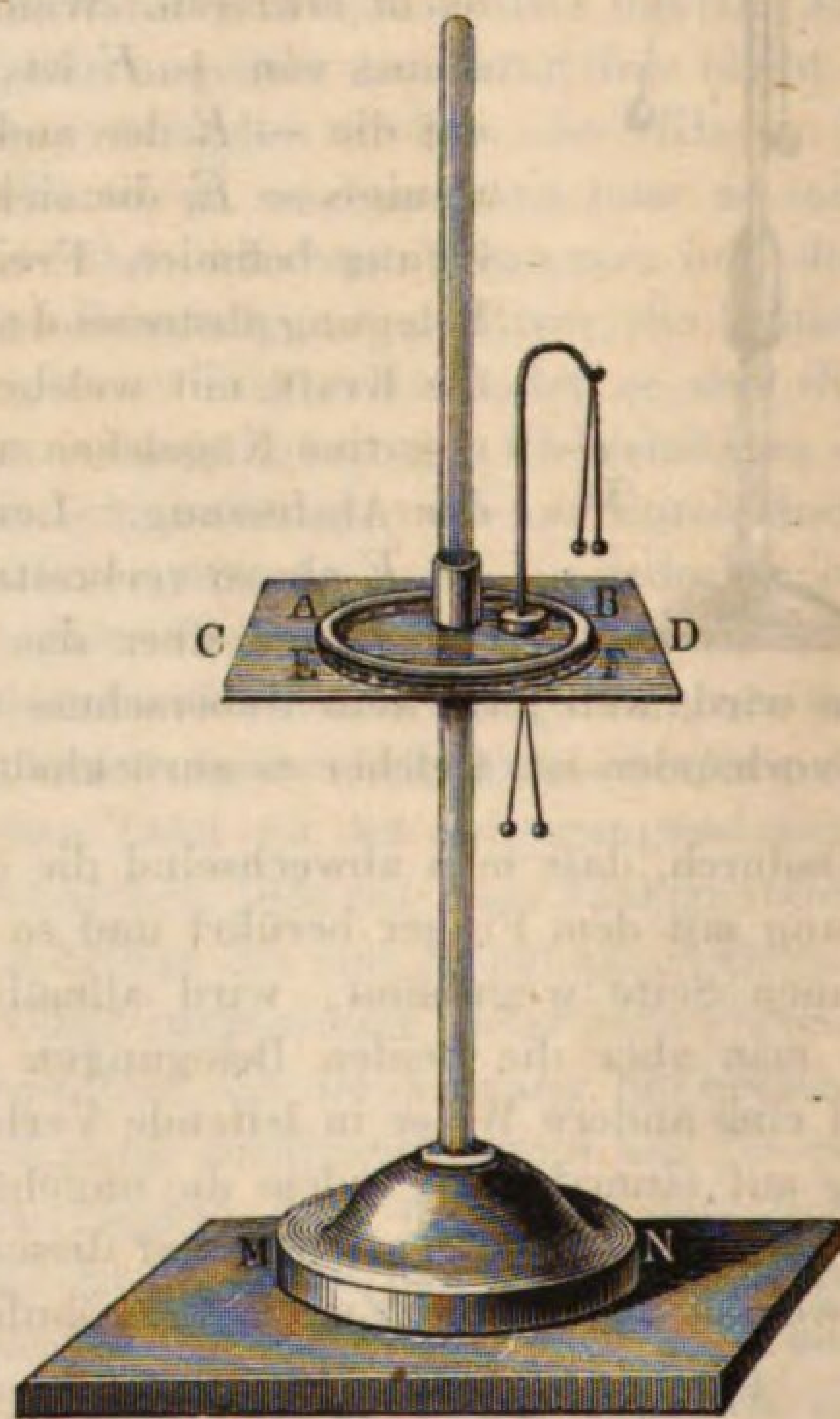
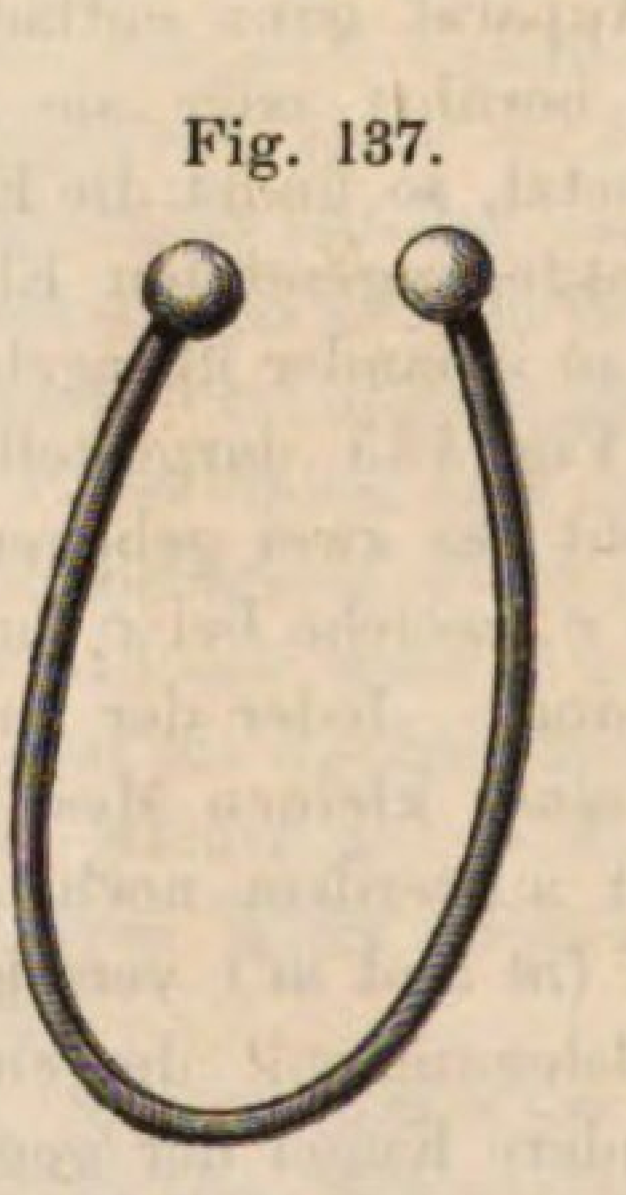


Fig. 137.



Ein Holzfuss *MN* trägt einen wohl isolirenden Glasstab, auf welchen oben eine runde, am Rande mit einem dickeren Wulste versehene Metallplatte *EF* aufgekittet ist. Auf diese Metallplatte wird eine Glas- oder Guttaperchaplatte *CD* gelegt, welche an allen Seiten die Metallplatte wenigstens um 1 Zoll überragen muss. Auf diese isolirende Platte endlich wird gerade der ersteren gegenüber eine zweite Metallplatte *AB* aufgesetzt, welche gleichfalls mit einem isolirenden Glasgriffe versehen ist.

Die untere Platte ist mit einem Häkchen versehen, an welchem ein elektrisches Pendelpaar (Hollundermarkkügelchen an leinenen Fäden) an-

gehängt werden kann. Die obere Platte trägt einen oben hakenförmig gebogenen Draht, an welchem gleichfalls ein solches Pendelpaar hängt.

Lässt man nun mittelst eines Ausladers einige Funken vom Conductor der Elektrisirmaschine auf die obere Platte AB überschlagen, während die untere ableitend berührt ist, so divergiren die oberen Pendel, die unteren aber nicht. Entfernt man den Finger von der unteren Platte, um die obere ableitend zu berühren, so fallen die oberen zusammen und die unteren gehen auseinander. — Hat nach einiger Zeit ruhigen Stehenlassens der Apparat so viel Elektricität verloren, dass beide Pendelpaare nur noch schwach divergiren, so fahren sie noch einmal stark auseinander, wenn man an dem isolirenden Handgriff haltend die Metallplatte AB von der Glasplatte CD abhebt, weil nun die bis dahin in den Platten gebunden gewesene Elektricität sich frei über das ganze leitende System, also auch über die Pendel verbreiten kann.

Die Leydener Flasche ist eigentlich nur eine bequemere Form 51
der Franklin'schen Tafel; sie besteht aus einem Glasgefäss, welches aussen bis auf einige Zoll vom Rande mit Stanniol überklebt ist; innen ist das Gefäss auf ähnliche Weise mit einer Belegung versehen oder bei kleineren Flaschen mit engem Halse mit einer leitenden Substanz, etwa mit Feilspähnen oder unechtem Goldschaum gefüllt. Die innere Belegung ist mit einem Messingstabe verbunden, welcher durch den Stopfen oder den Deckel des Gefässes hindurchgeht und mit einem Knopfe endigt. Die Figuren 139, 140 und 141 stellen verschiedene Formen der Leydener Flasche dar.

Fig. 139.



Fig. 140.



Fig. 141.



Der nicht belegte Theil des Glases muss gefirnisst werden. Um die Flasche zu laden, bringt man die äussere Belegung mit dem Boden, den Knopf mit dem Conductor der Maschine in leitende Verbindung. Man kann aber auch umgekehrt die innere Belegung mit dem Boden und die äussere mit dem Conductor der Maschine verbinden.

Die Leydener Flasche wurde zuerst im Jahre 1745 von Kleist in Cammin, dann im Jahre 1746 von Cunäus in Leyden zufällig erfunden.

Um recht starke Ladungen zu erhalten, muss man möglichst grosse Flaschen nehmen, oder man muss mehrere Flaschen zu einer elektrischen Batterie verbinden. Eine solche Batterie ist Fig. 142 dargestellt. Alle äusseren Belegungen der Flaschen sind unter sich in leitender Verbindung, eben so alle inneren Belegungen.

Fig. 142.

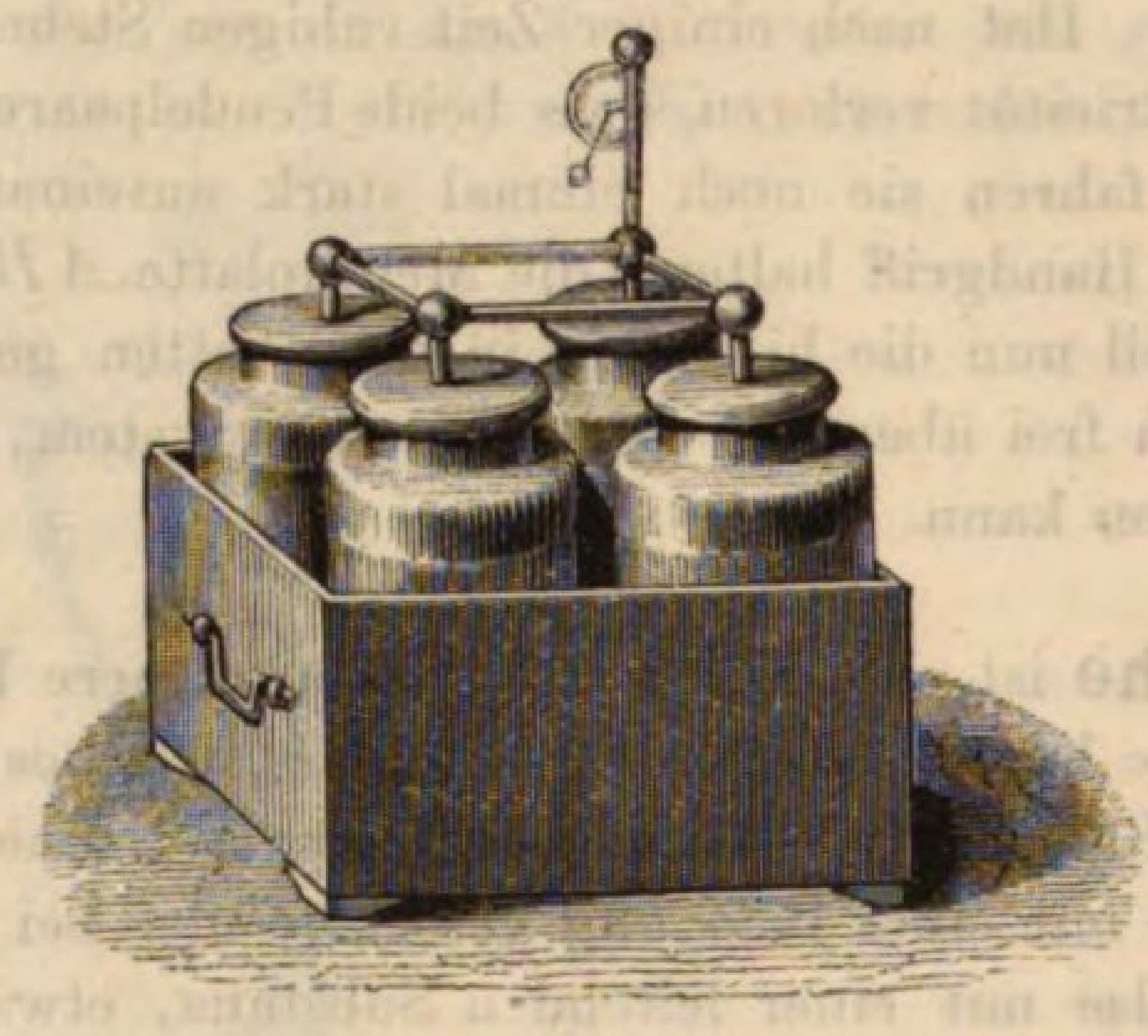
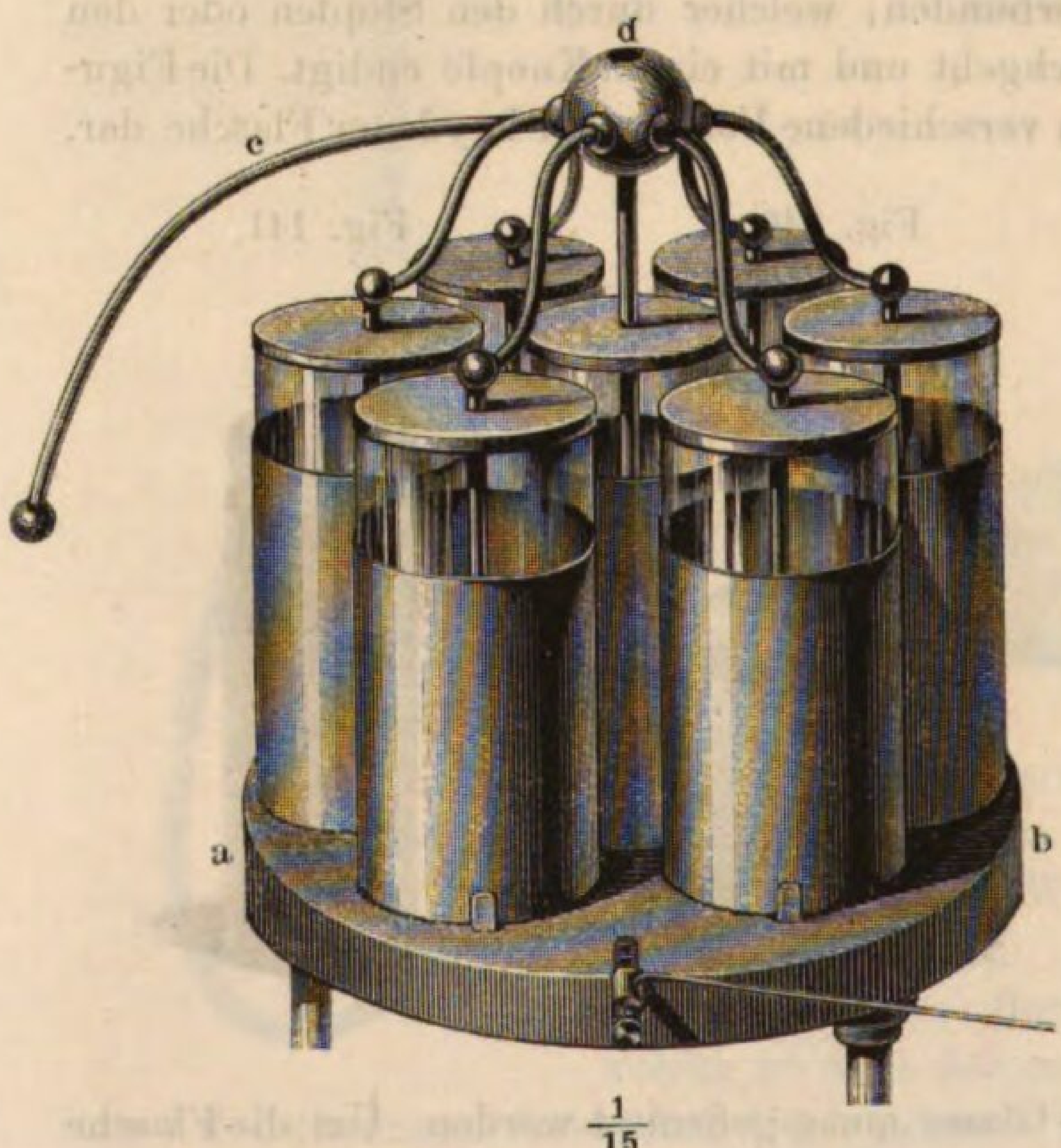


Fig. 143.



$\frac{1}{15}$

Fig. 143 stellt eine für messende Versuche sehr zweckmässige, von Riess angegebene Construction der elektrischen Batterie dar. Auf einem mit Stanniol überzogenen, durch Glasfüsse getragenen Brett ab stehen sieben möglichst gleiche Flaschen von ungefähr $2^1/_2$ Quadratfuss innerer Belegung. Der Knopf der mittleren Flasche wird durch eine hohle Messingkugel d von 4 Zoll Durchmesser gebildet, welche das gebogene, mit einer kleinen Metallkugel endigende Rohr c trägt, und welche oben mit einer Höhlung zum Einstecken eines Quadrantenelektrometers versehen ist. Mit den Knöpfen der sechs übrigen um die mittlere herumstehenden Flaschen ist die Kugel d durch metallische Bogen verbunden, welche aber nach Belieben von der Kugel d entfernt werden können. Die Knöpfe der äusseren Flaschen bilden nämlich Charniere, welche ein Zurückschlagen jener Verbindungsbogen gestatten.

An dem Brett ab ist eine Klemmschraube angebracht, in welcher ein die Verbindung mit dem Boden oder mit der Maassflasche (von der alsbald weiter die Rede sein wird) herstellender Draht eingeschraubt wird.

Gränze der Flaschenladung. Es ist nun noch die Frage zu 52
beantworten, welches die Gränze der Ladung sei, welche man einer Franklin'schen Tafel oder einer Leydener Flasche ertheilen kann. Diese Gränze ergiebt sich aus folgender Betrachtung: Wenn auf der inneren Belegung der Leydener Flasche (oder auf der isolirten Vorderseite der Franklin'schen Tafel) eine Quantität positiver Elektricität vorhanden ist, die wir mit $+ E$ bezeichnen wollen, so ist auf der ableitend berührten äusseren Belegung (oder auf der ableitend berührten Rückseite der Franklin'schen Tafel) die Elektricitätsmenge $e = nE$ gebunden, wenn der Factor n einen echten Bruch bezeichnet, also kleiner ist als 1. Der Bindungscoëfficient n wird um so grösser, je dünner die trennende Glaswand und je grösser die Oberfläche der einander gegenüberstehenden Metallbelegungen ist.

Die negative Elektricität der hinteren Belegung wirkt aber bindend zurück auf die positive der vorderen, und zwar ist die Quantität, welche sie zu binden vermag, gleich ne oder gleich n^2E; es bleibt auf der inneren Belegung also die Elektricitätsmenge

$$a = E - n^2E = E(1 - n^2) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

als freie Elektricität übrig.

Damit also auf der äusseren Belegung der Leydener Flasche eine bestimmte Quantität Elektricität vollständig gebunden sei, muss sich auf der inneren Belegung ein entsprechender Ueberschuss freier Elektricität des entgegengesetzten Zeichens befinden.

Während das elektrische Pendel auf derjenigen Seite der geladenen Franklin'schen Tafel vertical herabhängt, auf welcher alle Elektricität gebunden ist, wird das Pendel auf der anderen Seite, auf welcher sich ein Ueberschuss freier Elektricität befindet, abgestossen, wie Fig. 134 zeigt.

Berührt man ableitend diejenige Belegung, auf welcher sich ein Ueberschuss freier Elektricität befindet, während die andere isolirt bleibt, so fällt an der ersteren das Pendel herab, während es an der letzteren steigt. So kann man abwechselnd auf der einen und dann wieder auf der anderen Seite der Franklin'schen Tafel den Ueberschuss freier Elektricität wegnehmen und so die Tafel nach und nach entladen.

Die Gränze der Ladung der mit dem Conductor der Maschine verbundenen Belegung ist erreicht, wenn die Dichtigkeit der auf ihr vorhandenen freien Elektricitätsmenge a so gross geworden ist, dass ihr in jedem

Moment gerade eben so viel Elektricität in die Umgebung entströmt, als ihr vom Conductor zugeführt wird.

Wenn die äussere Belegung der Flasche isolirt bleibt, so bleibt alle der inneren Belegung mitgetheilte Elektricität frei; die Gränze der Ladung wird in diesem Fall erreicht sein, sobald die oben mit a bezeichnete Elektricitätsmenge der inneren Belegung zugeführt worden ist, was schon mit 1 oder 2 Umdrehungen der Maschine erreicht wird.

Wenn aber die äussere Belegung ableitend berührt ist, so muss nach den obigen Betrachtungen die innere Belegung eine viel grössere Elektricitätsmenge E enthalten, wenn sich auf ihr die Quantität a an freier Elektricität befinden soll. Nach Gleichung 1) haben wir nämlich

$$E = \frac{a}{1 - n^2}.$$

Wäre z. B. die Glasflasche gerade so dick, dass $n = 0{,}95$, so würde

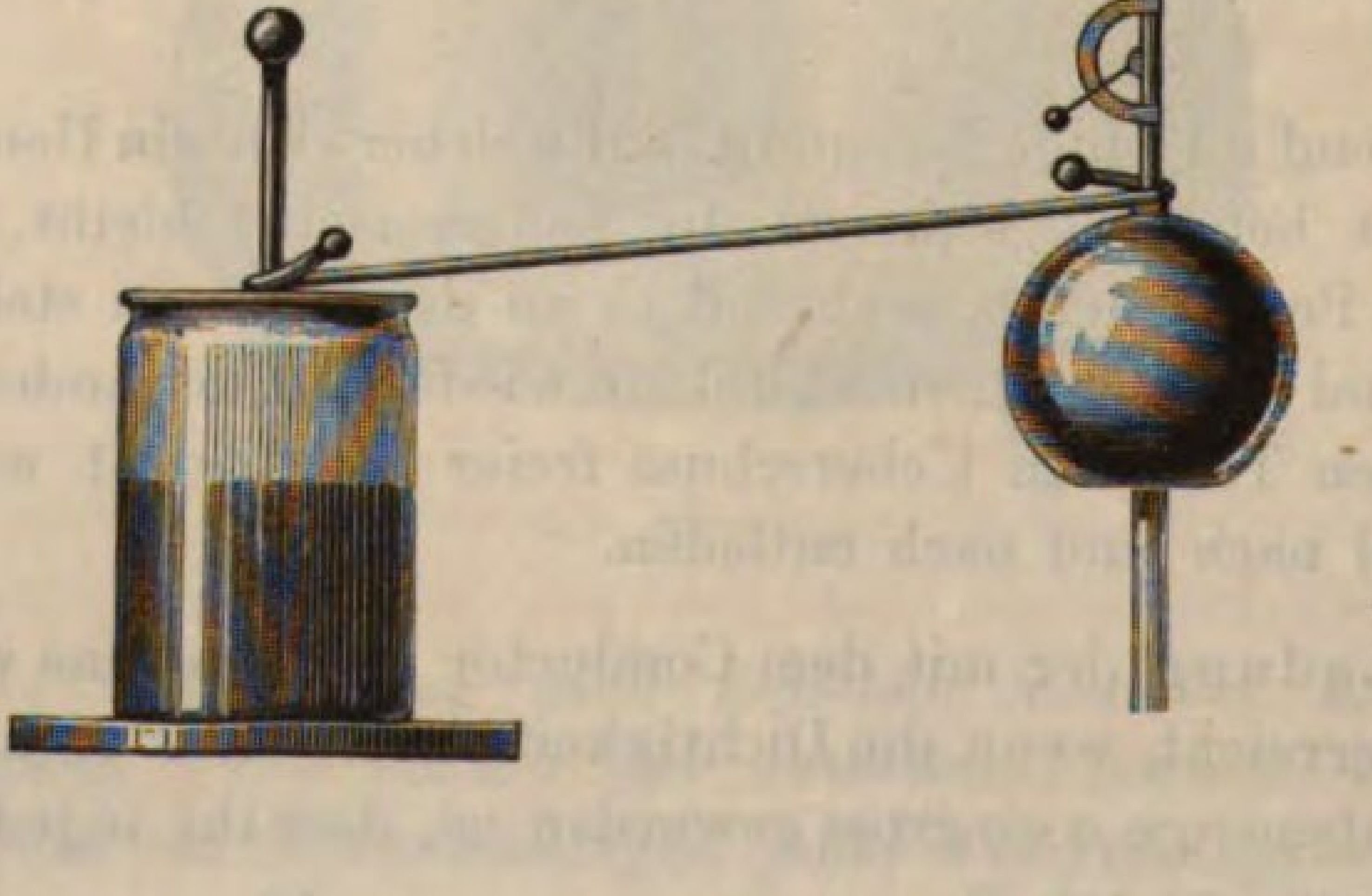
$$E = 10a$$

sein. Für den Fall also, dass die äussere Belegung ableitend berührt ist, würde eine 10mal so grosse Elektricitätsmenge auf der inneren Belegung der Flasche angehäuft werden können, als für den Fall, dass die äussere Belegung isolirt bliebe oder gar nicht vorhanden wäre.

Wenn die äussere Belegung ableitend berührt ist, so bedarf es in der That eines längeren Drehens der Maschine, bis das Pendel an der vorderen Belegung durch sein Aufsteigen anzeigt, dass die Gränze der Ladung erreicht sei.

Dass durch den Einfluss der ableitend berührten äusseren Belegung einer Leydener Flasche eine weit grössere Elektricitätsmenge auf der inneren angehäuft werden kann, als ohne dies möglich wäre, lässt sich leicht in folgender Weise darthun. Man setze eine Leydener Flasche auf einen wohl isolirenden Harzkuchen und bringe die innere Belegung derselben mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine in Verbindung, auf welchem, wie Fig. 144 zeigt, ein Quadrantenelektrometer aufgesetzt ist. Schon nach einer Umdrehung der Maschine wird das Elektrometer einen Ausschlag von 20 bis 30 Grad zeigen. Sobald man nun aber die äussere Belegung mit dem Boden in leitende Verbindung gesetzt hat, fällt das Elektrometer zusammen, weil alle Elektricität, welche bis jetzt als freie auf der inneren

Fig. 144.



Belegung vorhanden war, gebunden wird, und also von Neuem Elektricität vom Conductor nach ihr überströmen kann. Es sind jetzt 8 bis 12 Umdrehungen der Maschine nöthig, ehe das Elektrometer wieder seinen alten Ausschlag erreicht hat, ein Beweis, dass bei ableitend berührter äusserer Belegung die Flasche eine 8 bis 12 mal grössere Elektricitätsmenge aufzunehmen im Stande ist als bei isolirter.

Nicht immer lässt sich die dem Bindungscoëfficienten entsprechende Gränze der Ladung erreichen, denn wenn man hinlänglich kräftige Maschinen anwendet, so werden die Widerstände, welche die völlige Vereinigung der Elektricitäten der beiden Belegungen hindern, schon überwunden, es erfolgt von selbst schon eine Entladung, ehe noch die besprochene Gränze erreicht ist, indem entweder das Glas durchbrochen wird, oder ein Funken durch die Luft über den unbelegten Glasrand hin überschlägt.

Das Residuum. Wenn man eine Leydener Flasche mit einem der 53
oben beschriebenen Auslader entladen hat und sie dann einige Zeit stehen lässt, so giebt sie einen zweiten, freilich weit schwächeren Entladungsschlag. Die Elektricität bleibt nämlich nicht bloss auf den metallischen Belegungen der Leydener Flasche, sondern sie geht zum Theil auf die Oberfläche des Glases über. Dass die Sache wirklich so sei, lässt sich an einer Flasche zeigen, deren Belegungen man wegnehmen kann. Eine solche Flasche ist Fig. 145 dargestellt; in das Blechgefäss Fig. 146 wird nämlich zuerst das Glasgefäss Fig. 147 und in dieses endlich das die innere Belegung bildende Blechgefäss Fig. 148 gesetzt. Nachdem man diese

Fig. 145.



Fig. 146.



Fig. 147.



Fig. 148.



Flasche geladen hat, nehme man die innere Belegung heraus und entlade sie vollständig. Dann hebe man das Glasgefäss aus der äusseren Belegung und nehme auch dieser alle ihre Elektricität. Setzt man nun das Glas wieder in die äussere Belegung und die innere in das Glas, so findet man, dass die Flasche noch' zum Theil geladen ist, und diese Ladung hatte offenbar auf den gegenüberstehenden Oberflächen des Glasgefässes gehaftet.

Man kann denselben Versuch auch mit dem schon früher besprochenen Apparat, Fig. 149 (a. f. S.), anstellen. Nachdem man denselben ge-

laden hat, hebe man die obere Platte ab und entlade sie; alsdann hebe man die Glasplatte auf und entlade auch die untere Metallplatte. Setzt man nun nach Entladung der beiden Metallplatten den Apparat wieder zusammen, wie ihn die Fig. 149 darstellt, so zeigt er sich nach einiger Zeit abermals geladen.

Die eben besprochene rückständige Ladung wird gewöhnlich als elektrisches Residuum bezeichnet.

Der Umstand, dass das Residuum nur nach und nach auf die Belegungen zurücktritt, scheint darauf hinzudeuten, dass die Elektricität, welche auf den isolirenden Körper übergegangen ist, sich nicht allein auf seiner Oberfläche verbreitet, sondern bis zu einer geringen Tiefe auch in das Innere der Substanz eindringt.

Durch den Uebergang von Elektricität auf die isolirende Substanz, welche zwei Metallbewegungen trennt, lassen sich wie ich glaube auch die Versuche erklären, durch welche Faraday darzuthun sucht, dass die Natur der isolirenden Substanz einen Einfluss habe auf die Stärke der durch sie hindurch wirkenden Vertheilung, kurz, dass verschiedenen isolirenden Substanzen auch ein verschiedenes specifisches Vertheilungsvermögen zukomme.

Fig. 149.

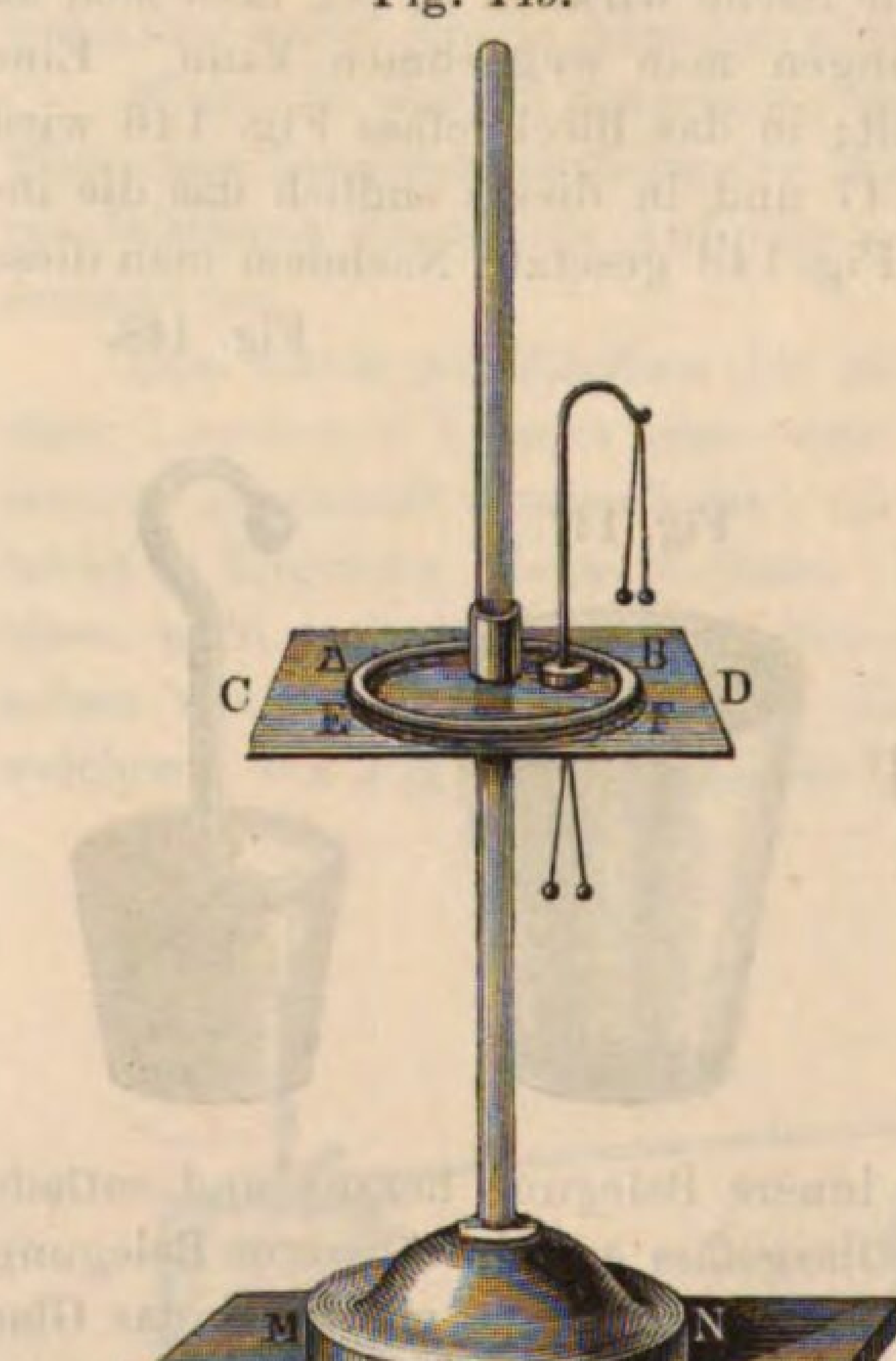
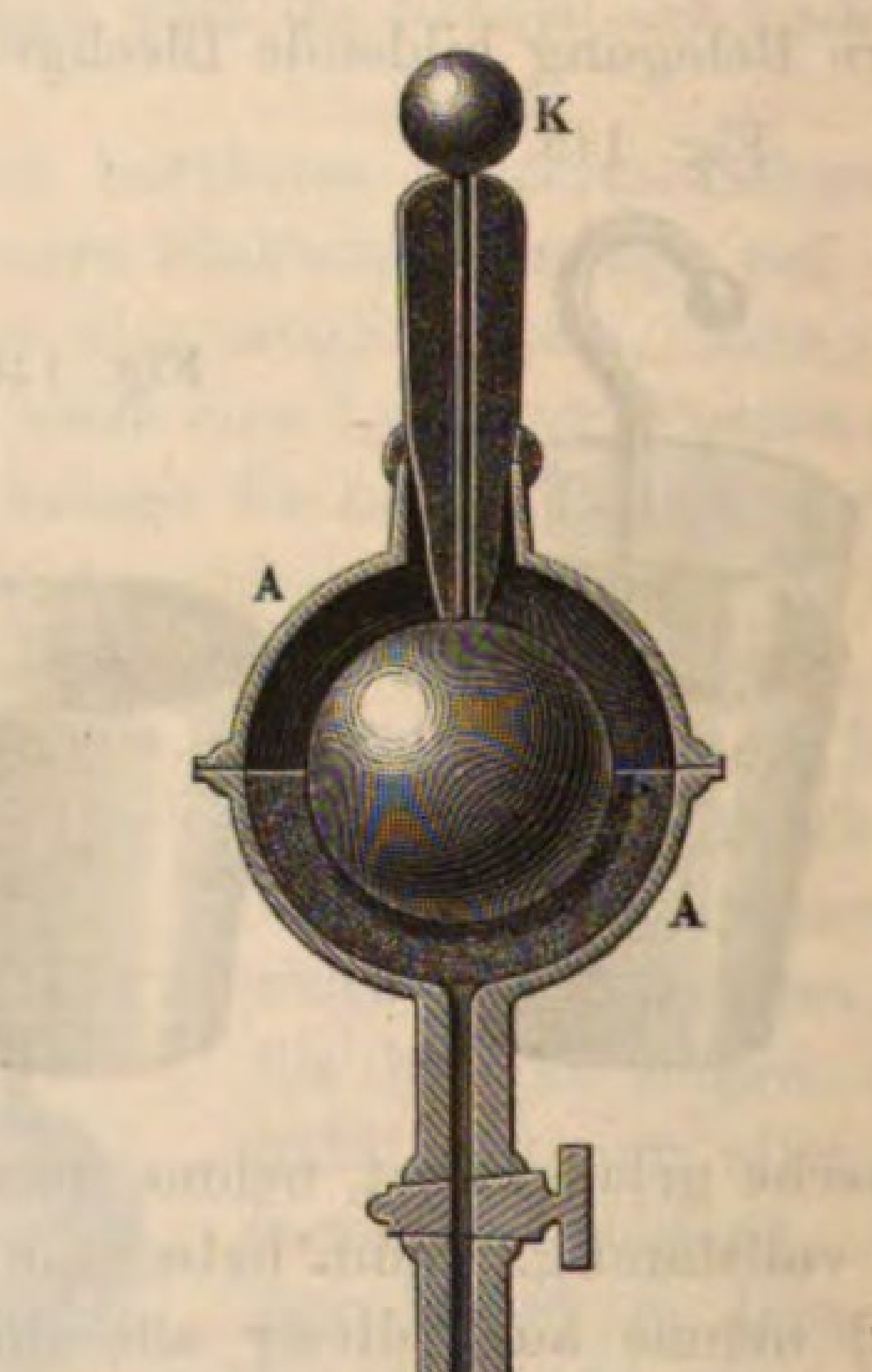


Fig. 150.



In Fig. 150 stelle A eine metallene Hohlkugel dar, die auf einem metallenen Fusse steht. In einer oben angebrachten Oeffnung steckt dicht

schliessend ein Schellackcylinder, durch dessen Mitte ein Draht geht, der oben die kleine Metallkugel K, unten die Metallkugel B trägt. Der Durchmesser der Kugel A ist ungefähr 8,5 Centimeter, der der Kugel B ist 6 Centimeter. — Die Kugel A besteht aus zwei, den Magdeburger Halbkugeln ganz ähnlichen Stücken, so dass man die obere Hälfte sammt dem Schellackcylinder und den Kugeln K und B abheben kann.

Faraday brauchte zu seinen Versuchen zwei ganz gleiche Apparate der Art, die er Vertheilungsapparate nennt.

Man kann einen solchen Vertheilungsapparat laden, wie man eine Leydener Flasche ladet, wenn man K mit einer Elektricitätsquelle, A aber mit dem Boden in leitende Verbindung setzt. B repräsentirt alsdann die innere Belegung, A die äussere, die Luftschicht zwischen beiden ersetzt die Glasbelegung.

Ein solcher Vertheilungsapparat, den ich mit I bezeichnen will, wurde dadurch geladen, dass man K mit der Kugel einer geladenen Leydener Flasche berührte, während A gut abgeleitet war. Begreiflicherweise musste, wie dies ja auch bei der inneren Belegung einer Leydener Flasche der Fall ist, auf B und K ein Ueberschuss freier Elektricität sein, dessen Stärke an einer Coulomb'schen Drehwage gemessen wurde. Um die Mittelpunkte der beiden Kugeln der Drehwage in einem Winkelabstande von 30^0 zu erhalten, war eine Torsion des Fadens von 250^0 nöthig.

Nun wurde mit dem Knopfe K des Vertheilungsapparates I der Knopf K eines ganz gleichen Vertheilungsapparates II berührt, während dessen äussere Kugel gut abgeleitet war. Die Ladung, welche vorher dem Apparate I allein mitgetheilt war, wurde auf diese Weise zwischen den beiden Vertheilungsapparaten getheilt. — Nach dieser Theilung wurde die Stärke der freien Elektricität der inneren Belegung für jeden der beiden Vertheilungsapparate gemessen; der ersteren entsprach eine Torsion von 124^0, der anderen eine Torsion von 122^0 an der Drehwage, um die Kugeln, wie immer, auf einem Winkelabstande von 30^0 zu erhalten; nach der Theilung war also die freie Elektricität auf der inneren Belegung sehr nahe gleich, und zwar, wie vorauszusehen war, halb so gross, als auf I vor der Theilung, es hat sich also die Ladung auf die beiden Vertheilungsapparate ganz gleich vertheilt.

Nun wurde in dem Apparate II die Hälfte der Luft durch ein anderes di-elektrisches Mittel (so nennt nämlich Faraday diejenigen Mittel, durch welche hindurch eine elektrische Vertheilung stattfindet) ersetzt. Zunächst wurde Schellack versucht. Die obere Hälfte des Apparates II wurde abgehoben, in die untere Hälfte der Kugel A eine halbkugelförmige Schale von Schellack eingelegt, und nun die obere Hälfte des Apparates wieder aufgesetzt, so dass der Zwischenraum zwischen der unteren Hälfte beider Kugeln durch Schellack ausgefüllt war, wie dies Fig. 151 a. f. S. angedeutet ist.

Der Apparat I, welcher unverändert, wie beim vorigen Versuch blieb, wurde ganz in der früheren Weise geladen, und die freie Elektricität der

inneren Belegung an der Torsionswage gemessen. Auf diese Weise gab

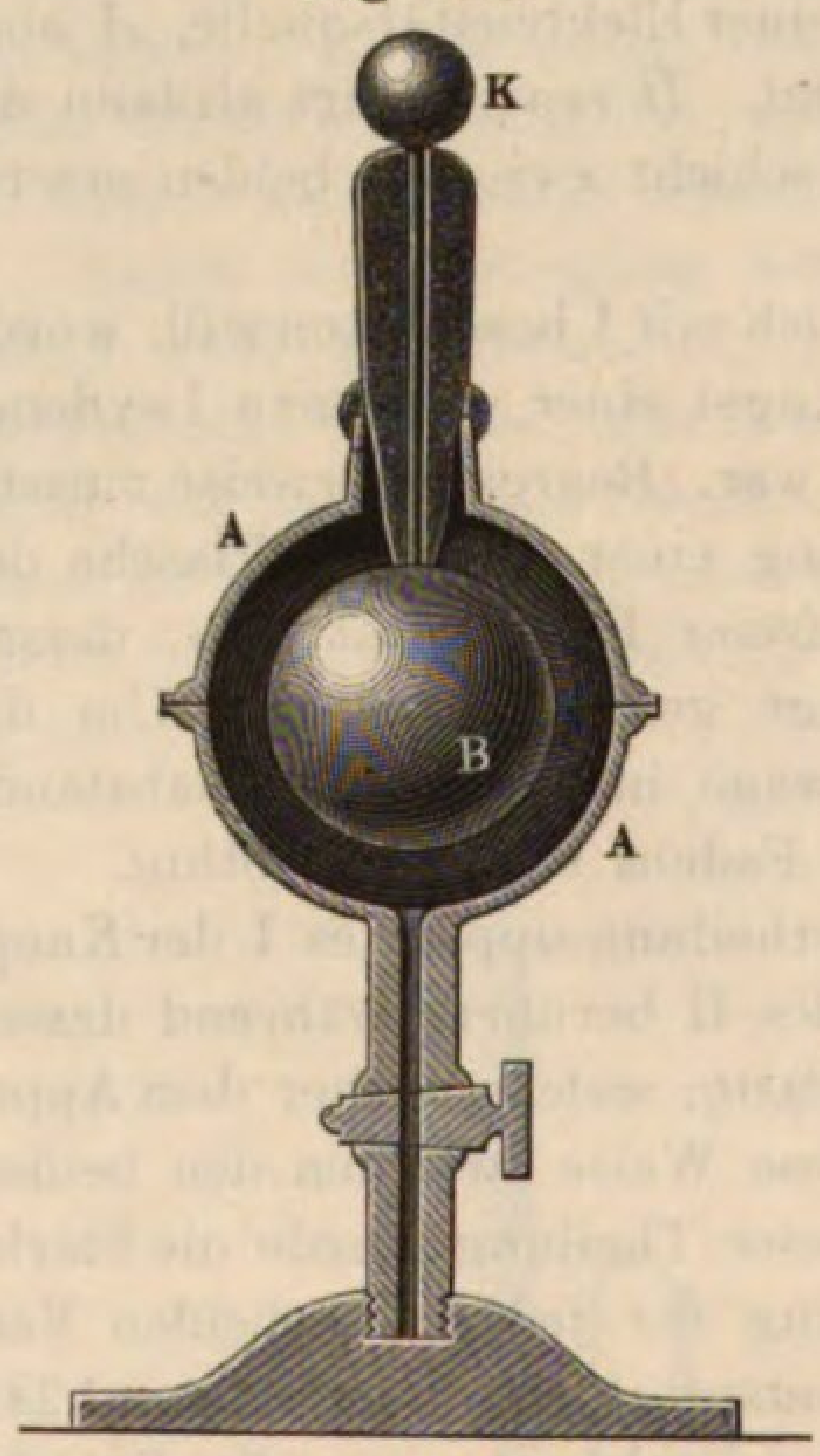
der Apparat I 290°.

Nun wurde die Ladung zwischen dem Apparate I und II getheilt, nach der Theilung gab

der Apparat I 114°
der Apparat II 113°

Auch hier ist die freie Elektricität der inneren Belegung beider Apparate nach der Theilung sehr nahe gleich, allein sie ist weit geringer als die Hälfte der freien Elektricität der inneren Belegung des Apparates I vor der Theilung; daraus geht nun hervor, dass der Apparat II mehr als die Hälfte der Elektricität des Apparates I aufgenommen hat, ohne dass deshalb die freie Elektricität auf II grösser wäre als auf I, und daraus schliesst Faraday, dass durch Schellack hindurch eine kräftigere Bindung stattfinde.

Fig. 151.



Bezeichnen wir die Menge der freien Elektricität der inneren Belegung von I vor der Theilung mit 290, so ist die Gesammtmenge der hier vorhandenen Elektricität $n . 290$; nach der Theilung bleibt nur noch $n . 114$; es ist also $n\ (290 - 114) = n . 176$ an den Apparat II abgegeben worden. Hier aber findet nun nach Faraday's Ansicht ein anderes Verhältniss zwischen der gebundenen und freien Elektricität statt; die freie Elektricität ist 113, die gebundene n' 113, wir haben also

$$n'\ 113 = n . 176$$

also

$$n' = n \cdot \frac{176}{113} = n . 1{,}55;$$

durch Schellack hindurch findet also eine 1,55mal stärkere Bindung statt als durch Luft, oder wie Faraday sich ausdrückt: Schellack hat ein 1,55mal grösseres specifisches Vertheilungsvermögen als Luft.

Durch ähnliche Versuche fand Faraday das specifische Vertheilungsvermögen des Schwefels 2,24 mal so gross als das der Luft.

Für die verschiedenartigsten Gase fand Faraday das specifische Vertheilungsvermögen gleich dem der Luft. Um verschiedene Gase in

den Apparat bringen zu können, war der Fuss durchbohrt und mit einem Hahn versehen; man konnte ihn auf eine Luftpumpe schrauben, evacuiren und dann ein anderes Gas einlassen.

Diese Erscheinung erklärt sich leicht ohne die Annahme eines specifischen Vertheilungsvermögens, wenn man bedenkt, dass die Schellackschale einen Theil der Ladung aufnimmt.

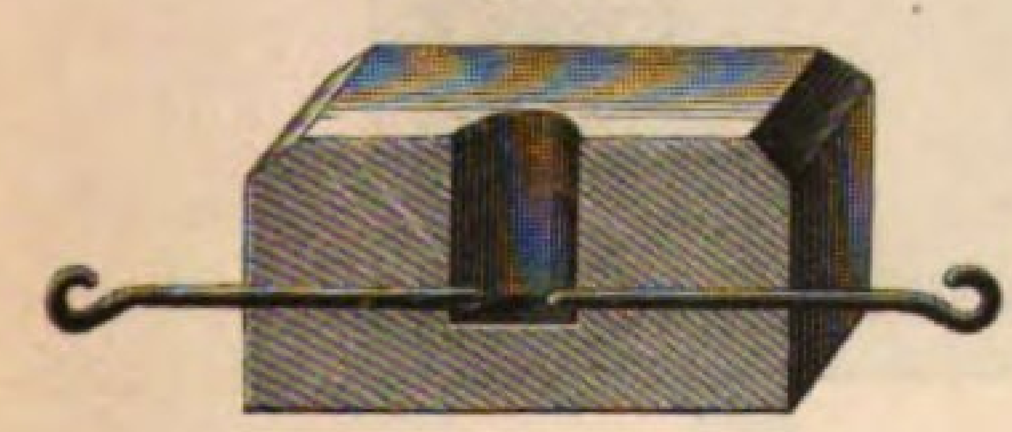
Versuche mit der Leydener Flasche. Wenn der Entladungsschlag einer Leydener Flasche durch den menschlichen Körper hindurchgeht, so bringt er eine eigenthümliche, schwer zu beschreibende Empfindung, ein unwillkürliches Zucken der Nerven hervor. Man macht den Versuch, indem man mit der einen Hand die äussere Belegung, mit der anderen den Knopf anfasst. Bei schwächeren Ladungen ist der Schlag nur in den Vorderarmen fühlbar; bei stärkeren fühlt man ihn auch im Oberarm, und wenn die Ladung noch stärker gemacht wird, so bringt der Schlag einen heftigen Schmerz in der Brust hervor. Sehr starke Schläge können in der That gefährlich werden. Um kleinere Thiere, wie Vögel, Hasen u. s. w., durch den elektrischen Schlag zu tödten, hat man noch nicht einmal grosse Batterien nöthig, mit welchen man selbst noch grössere Thiere tödten kann. An den durch einen elektrischen Schlag getödteten Thieren hat man bei der anatomischen Untersuchung derselben bis jetzt noch keine Verletzung der Organe entdecken können; nach den Zuckungen aber, welche sie machen, wenn der Schlag nicht ganz hinreichend war, um sie zu tödten, kann man beurtheilen, wie heftig das ganze Nervensystem angegriffen worden ist. 54

Wenn mehrere Personen eine Kette bilden, indem sie einander die Hände geben, und die erste die äussere Belegung der Flasche, die letzte den Knopf anfasst, so fühlen alle den Schlag auf einmal.

Brennbare Flüssigkeiten kann man mit Hülfe der Leydener Flasche weit sicherer entzünden als mit dem directen Funken vom Conductor der Maschine. Selbst gepulvertes Colophonium auf Baumwolle gestreut lässt sich durch den Entladungsfunken der Leydener Flasche entzünden.

Um Schiesspulver zu entzünden, wendet man die Vorrichtung Fig. 152 an. In ein Holzklötzchen ist ein Loch von ungefähr $1/2$ Zoll Durchmesser und 1 Zoll Tiefe gebohrt, welches ungefähr zur Hälfte mit Pulver gefüllt wird. Durch zwei seitliche, diametral einander gegenüberstehende Löcher ragen zwei ungefähr 1 Linie dicke Messingdrähte in den unteren Theil dieser Höhlung hinein. Der eine dieser aussen etwas umgebogenen Drähte ist mit der äusseren Belegung der Batterie in Verbindung gebracht, während von dem anderen aus eine leitende Verbindung mit der inneren Belegung hergestellt wird. Der Entladungsfunken geht nun in der oben erwähnten Höhlung zwischen den

Fig. 152.



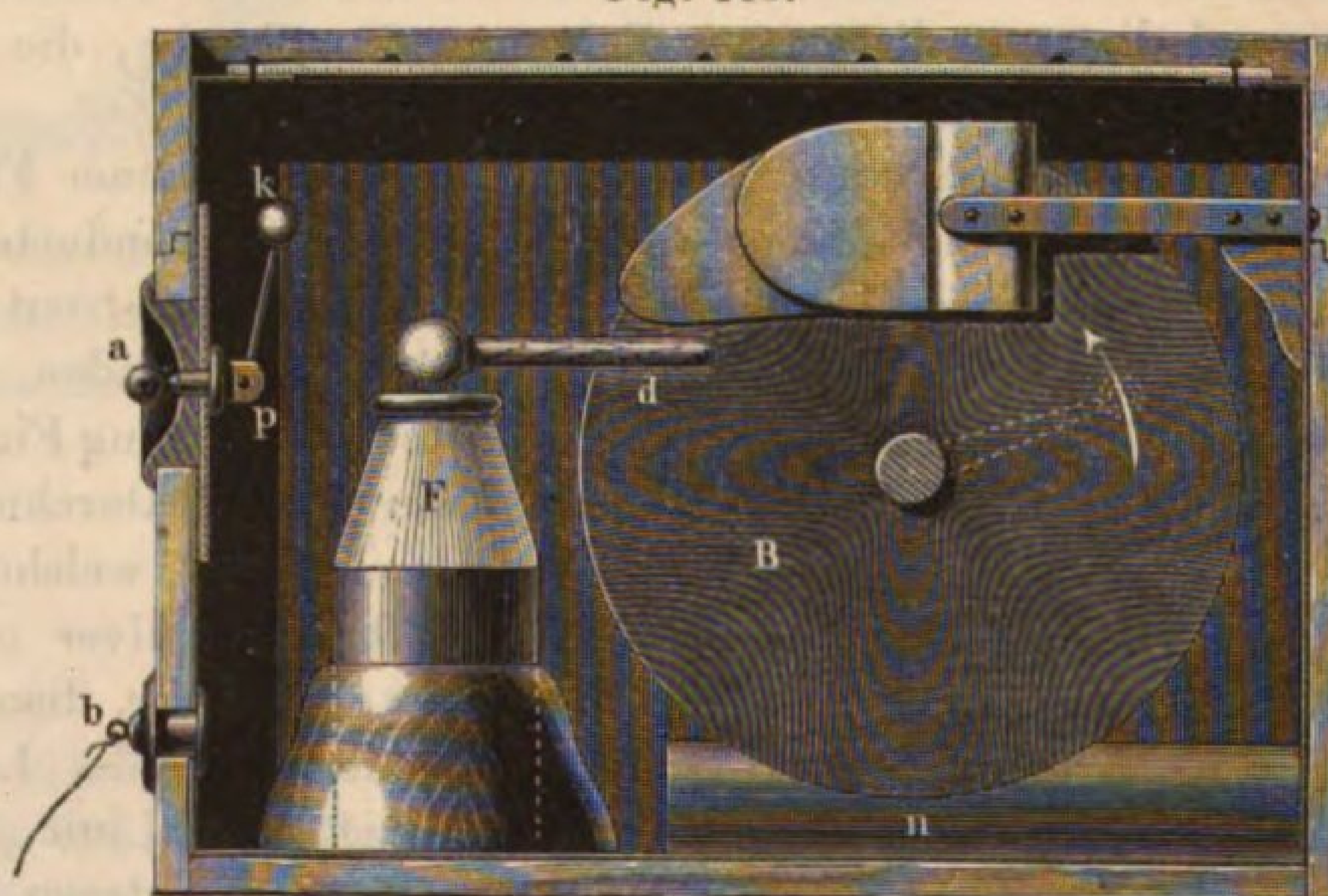
einander gegenüberstehenden Drahtenden über. Zur Entzündung des Pulvers ist nicht nur eine starke Ladung der Batterie, sondern eine Verzögerung der Entladung nöthig, welche dadurch bewirkt wird, dass man an einer beliebigen Stelle eine feuchte Schnur, einen durchnässten Bindfaden, einschaltet. Wenn der ganze Schliessungsbogen metallisch ist, wie gewöhnlich, so wird das Pulver bloss auseinander geworfen und nicht entzündet.

Um schon mit schwächeren Funken Pulver entzünden zu können, braucht man nur die Enden der Drähte, zwischen welchen sie überspringen sollen, mit Knallquecksilber oder noch besser mit chlorsaurem Kali und Schwefelantimon zu bedecken, wie dies bei den später zu besprechenden Stateham'schen Zündern geschieht. Diese Zünder werden gewöhnlich zum Entzünden der Minen mittelst Inductionsfunken gebraucht, aber auch der Entladungsschlag einer kleinen mit der Elektrisirmaschine geladenen Flasche genügt zu ihrer Entzündung. Der praktischen Anwendbarkeit der Reibungselektricität stand bisher nur die nachtheilige Einwirkung einer feuchten Atmosphäre auf die Wirksamkeit der Elektrisirmaschine entgegen.

Mechanikus Bornhardt in Braunschweig hat eine Zünd-Elektrisirmaschine construirt, welche zum Zünden der Minen für militärische und bergmännische Zwecke bei jeder Witterung, selbst in feuchten Gruben, stets brauchbar ist. Dieselbe ist in Fig. 153 in $^1/_6$ der natürlichen Grösse im Verticaldurchschnitt dargestellt.

Die Glasscheibe der gewöhnlichen Maschine ist durch eine Scheibe *B* von gehärtetem Kautschuk ersetzt, während das Reibzeug unter

Fig. 153.



Vermeidung des Amalgams durch eigenthümlich präparirtes Pelzwerk gebildet wird. — Die Saugarme *d* sitzen unmittelbar auf der kleinen Leydener Flasche *F*.

Das Wesentlichste des Apparates beruht aber auf dem luftdichten

Verschluss eines die ganze Maschine umgebenden Blechkastens, in welchem zwei Rollen *n* mit hygroskopischen Substanzen angebracht sind. Oben ist der Blechkasten durch eine Glasplatte mittelst Schrauben hermetisch verschlossen. Das Ganze ist in einen mit amerikanischem Ledertuch überzogenen Holzkasten eingeschlossen.

Die eiserne Axe der Scheibe *B* geht durch eine Stopfbüchse in der Rückwand des Kastens hindurch, und auf das ausserhalb des Kastens befindliche Ende derselben wird die Kurbel aufgeschraubt, durch welche die Drehung der Scheibe bewirkt wird.

Das Reibzeug sowie die äussere Belegung der Flasche sind mit dem Blechkasten und also auch mit dem Metallring *b* in leitender Verbindung, in welchen das eine Ende der zum Zünder führenden Drahtleitung eingehängt wird.

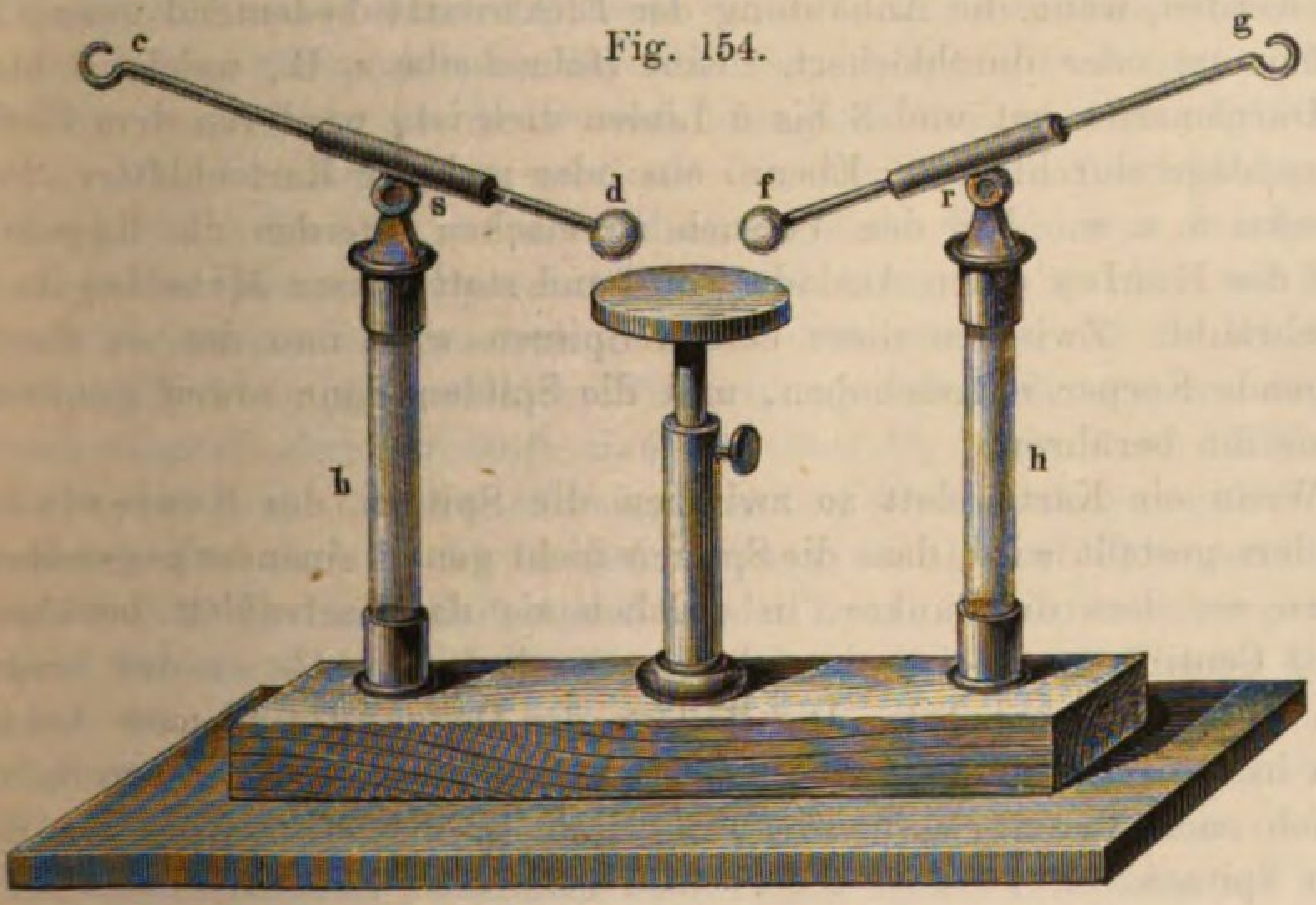
Das andere Ende der mit Guttapercha überzogenen Drahtleitung wird an dem Knopf *a* befestigt, welcher mit dem Messinghebel *pk* in leitender Verbindung steht, aber von dem Blechkasten durch eine Platte von gehärtetem Kautschuk isolirt ist.

Der Hebel *pk* ist um eine horizontale Axe drehbar, welche mit der Axe der Scheibe *B* parallel ist und welche gleichfalls durch eine in der Rückwand des Kastens angebrachte Stopfbüchse hindurchgeht; sie kann durch einen aussen aufgesteckten Schlüsselgriff gedreht werden.

Um eine Entzündung der Mine zu bewirken, wird die Scheibe *B* einigemal umgedreht, und dann durch Drehung des eben erwähnten Schlüsselgriffs die Kugel *k* mit dem Knopf der inneren Belegung der Flasche *F* in Berührung gebracht.

Zu sehr vielen Versuchen, die man mit dem Entladungsschlag der Leydener Flasche und der elektrischen Batterie anstellen kann, ist der Henley'sche allgemeine Auslader, welcher Fig. 154 dargestellt ist,

Fig. 154.



ganz besonders bequem. Der eine Arm *cd* wird durch eine Kette mit der äusseren Belegung in leitende Verbindung gebracht, an dem anderen Arme *gf* ist aber eine Kette befestigt, welche an die eine Kugel eines der in §. 50 beschriebenen Auslader angehängt wird. Wenn man den Funken durchschlagen lassen will, so nähert man die andere Kugel des Ausladers rasch dem Knopfe der Flasche.

Wenn man die Kugeln *d* und *f* durch einen sehr dünnen Eisendraht verbindet, so wird dieser erwärmt, wenn ein schwacher Schlag hindurchgeht; eine stärkere Ladung macht ihn rothglühend und eine noch stärkere macht, dass er in einzelnen geschmolzenen Kügelchen auseinanderfährt, die weithin fortgeschleudert werden.

Ein schmaler Streifen Zinnfolie, welcher 3 bis 4 Zoll lang ist, wird durch den Entladungsschlag einer gewöhnlichen Batterie verflüchtigt, der Dampf oxydirt sich und bildet lange in der Luft schwebende, Spinnengeweben ähnliche Fäden.

Auch andere Metalle werden auf diese Weise erhitzt, glühend gemacht, geschmolzen und oxydirt; wenn man sie aber von gleicher Länge und von gleichem Durchmesser nimmt, so bringt dieselbe Ladung nicht denselben Effect hervor. Die schlechteren Leiter, wie Platin und Eisen, werden bei gleichen Dimensionen weit stärker erwärmt als Gold und Kupfer, welche bessere Leiter sind.

Mit Gold übersponnene Seidenfäden bieten eine eigenthümliche Erscheinung dar. Das Gold, welches sie bedeckt, wird verflüchtigt und oxydirt, ohne dass die Seide auch nur zerrissen worden wäre. Um diesen Versuch recht deutlich zu machen, hält man an den Faden ein Stück weissen Papiers, auf welchem man nach dem Schlage einen breiten Streifen von brauner Farbe sieht.

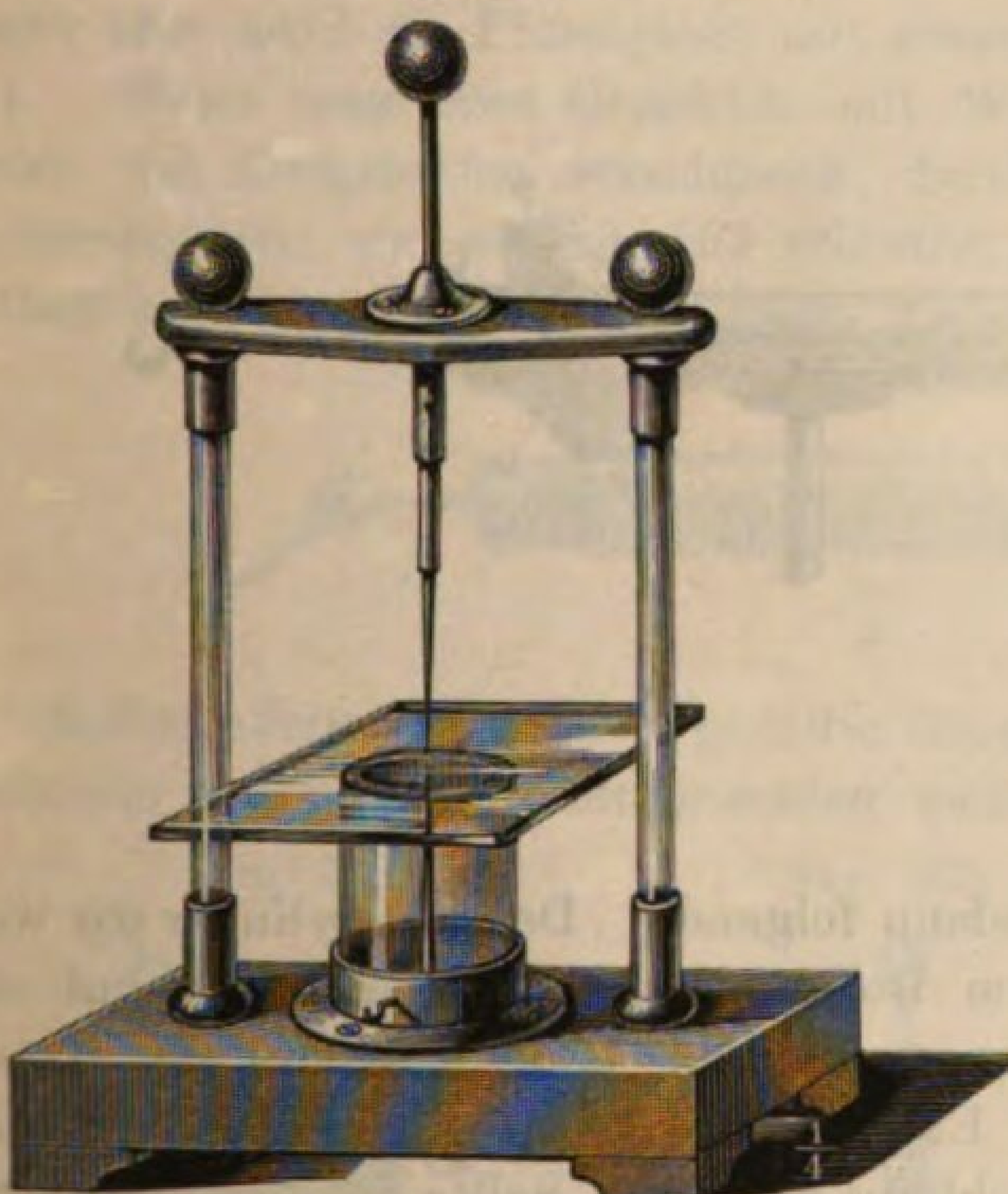
Schlechte Leiter, welche den Weg des Entladungsschlages unterbrechen, werden, wenn die Anhäufung der Elektricität bedeutend genug ist, zertrümmert oder durchlöchert. Eine Holzscheibe z. B., welche 3 bis 4 Zoll Durchmesser hat und 3 bis 5 Linien dick ist, wird von dem Entladungsschlage durchbohrt. Ebenso ein oder mehrere Kartenblätter, Pappendeckel u. s. w. Um den Versuch zu machen, werden die Kugeln *d* und *f* des Henley'schen Ausladers ab- und statt dessen Metallspitzen angeschraubt. Zwischen diese beiden Spitzen wird nun der zu durchschlagende Körper eingeschoben, und die Spitzen dann soweit genähert, dass sie ihn berühren.

Wenn ein Kartenblatt so zwischen die Spitzen des Henley'schen Ausladers gestellt wird, dass die Spitzen nicht genau einander gegenüber-, sondern so, dass die Punkte, in welchen sie das Kartenblatt berühren, 2 bis 3 Centimeter auseinanderstehen, so wird es stets an der negativen Spitze durchbohrt. Die Ränder der Oeffnung sind nach beiden Seiten in die Höhe gerissen (der Lullin'sche Versuch). Im Vacuum bildet sich nach Tremery die Oeffnung stets in der Mitte zwischen den beiden Spitzen.

Die Erklärung des Lullin'schen Versuchs findet man in dem später folgenden Paragraphen über die Lichtenberg'schen Figuren.

Um eine Glasplatte zu durchschlagen, muss man dafür sorgen, dass die Elektricität möglichst an einem Punkte concentrirt werde; die Glasplatte muss deshalb zwischen zwei einander genau gegenüberstehenden leitenden Spitzen befestigt sein. Man kann zu diesem Zwecke den Apparat Fig. 155 anwenden. Die Glasplatte wird, wenn sie in den Apparat eingesetzt ist, mit einer dünnen Oelschicht übergossen, weil sonst der Funken leicht um das Glas herumschlägt.

Fig. 155.



Beim Durchschlagen des Glases kommt es mehr auf hohe Spannung als auf grosse Menge der Elektricität an, der Versuch gelingt deshalb am besten mit einer Flasche von etwas dickem Glase.

Ja, der einfache Funken des Conductors einer kräftigen Elektrisirmaschine ist, wie Holtz neuerdings gezeigt hat, zum Durchbohren dickerer Glasplatten wirksamer als der Entladungsschlag der Leydener Flasche, eben weil die Dichtigkeit der freien Elektricität auf dem Conductor grösser ist als in der Leydener Flasche.

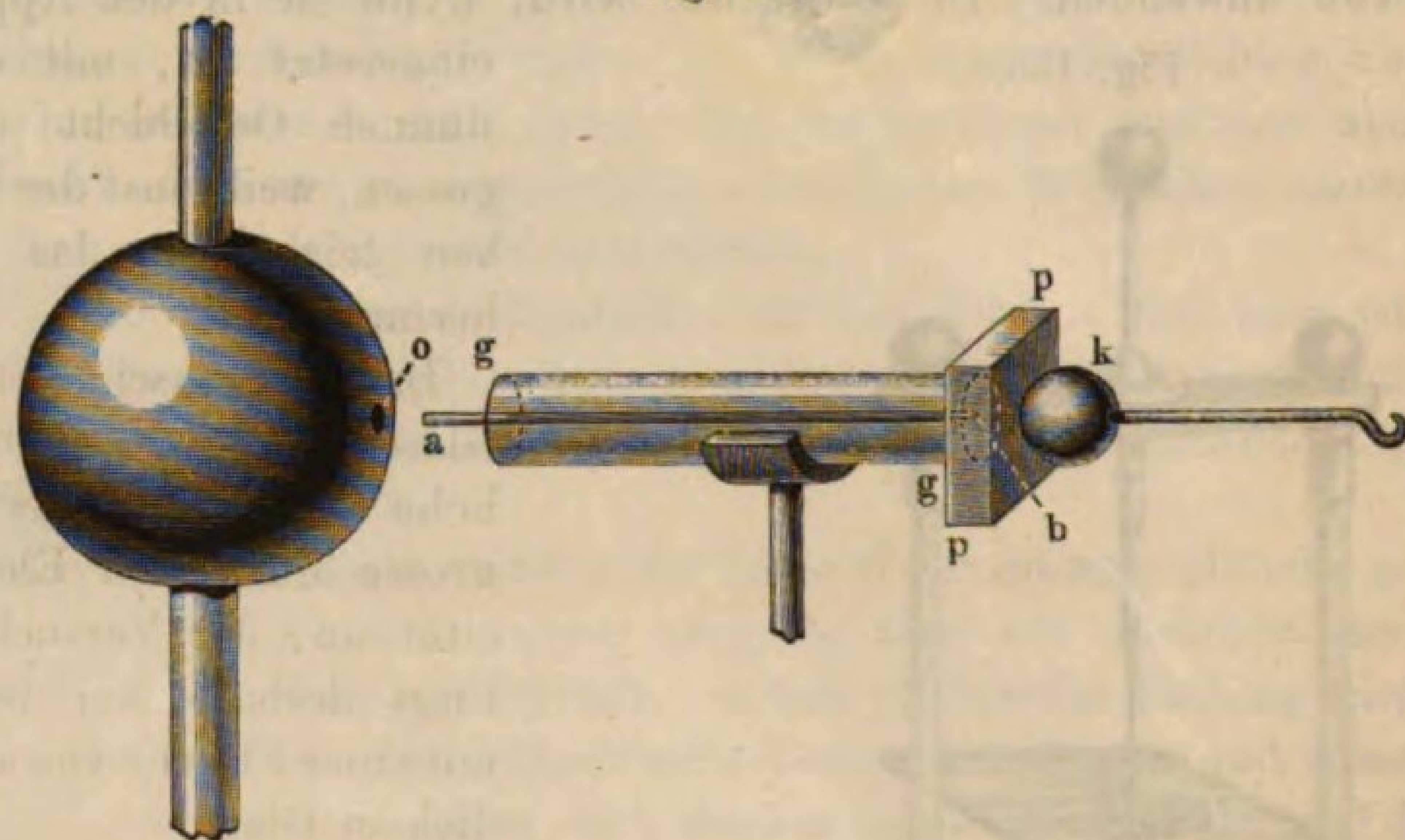
Um dickere Glasplatten zu durchbohren, ist vor allen Dingen nöthig, die Spitze, von welcher aus die Durchbohrung stattfinden soll, möglichst gut zu isoliren. Man kann zu diesem Zwecke dieselbe Vorrichtung gebrauchen, welche Ruhmkorf anwandte, um dicke Glasplatten durch den Funken seines Inductionsapparates zu durchbohren und welchen wir später noch werden kennen lernen; noch zweckmässiger aber ist die Holtz'sche durch Fig. 156 (a. f. S.) erläuterte Vorrichtung. Längs der Axe eines sonst massiven Glascylinders gg läuft eine ungefähr $^1/_2$ Linie weite Höhlung, in welche ein Stahlstäbchen ab eingeschoben wird, welches so dick ist, dass es sich eben noch leicht in der Höhlung des Glascylinders verschieben lässt. Auf der einen Seite bei b ist der Draht zugespitzt und gehärtet. Die äussere Glaswand ist mit einem durchsichtigen Firniss überzogen.

An der einen Seite muss der Glascylinder vollkommen eben abgeschliffen sein, und auf diese plangeschliffene Fläche wird dann die zu durchbohrende Glasplatte, nachdem beide Stücke vorher vorsichtig erwärmt

worden sind, mittelst einer Masse aufgekittet, welche man durch Zusammenschmelzen von 1 Theil Schellack mit 2 bis 3 Theilen venetianischem Terpentin erhält.

Der Stahldraht wird natürlich so in die Höhlung eingeschoben, dass die Spitze *b* die zu durchbohrende Platte berührt. Die zweckmässigste

Fig. 156.



Anordnung des Versuchs ist alsdann folgende: Der Glascylinder *gg* wird in horizontaler Lage von einem isolirenden Stativ getragen und das aus dem Glascylinder *gg* hervorragende Ende *a* des Stahldrahtes in eine Höhlung *o* des Conductors der Elektrisirmaschine so eingeschoben, dass der Draht die Wandung der Höhlung berührt. Sollte in dem Conductor keine solche Höhlung vorhanden sein, so muss bei *a* eine Metallkugel an den Draht angesetzt und diese dann mit dem Conductor in Berührung gebracht werden.

Auf die äussere Fläche der Glasplatte *pp* wird dann, gerade der Spitze *b* gegenüber, eine Messingkugel *k* aufgesetzt, welche mit dem Boden in gut leitender Verbindung steht.

Wenn man mit einer Winter'schen Maschine experimentirt, muss man, um kräftigere Funken zu erhalten, den in §. 40 besprochenen Holzring auf den Conductor aufsetzen, von welchem in Fig. 156 der unterste Theil sichtbar ist.

Nach gehöriger Aufstellung der oben beschriebenen Vorrichtung bedarf es nur weniger Umdrehungen der Scheibe, um einen die Glasplatte durchbohrenden Funken zu erzeugen.

Mit einer Elektrisirmaschine, welche in Luft 3, 6, 12 Zoll lange Funken giebt, kann man $^1/_4$, $^2/_3$, $1^1/_2$ Zoll dicke Glasplatten durchschlagen. Die Wanddicke des Glascylinders *gg* muss jedenfalls grösser sein als die Dicke der zu durchschlagenden Glasplatte. Der Glascylinder ist ungefähr 5mal so lang als sein Durchmesser.

Der Weg, welchen der Entladungsfunken durch das Glas nimmt, ist

keineswegs geradlinig, sondern eigenthümlich gezackt, wie man dies auch bei längeren elektrischen Funken in der Luft wahrnimmt; auch bildet er nicht einfach eine glattwandige Röhre, sondern ringsum ist das Glas aufgerissen, so dass das durchgeschlagene Loch ungefähr aussieht, wie ein weisser Zwirnsfaden, an den sich ringsum glänzende Krystallflitterchen angesetzt haben.

Wenn man die Elektricität in einer Flüssigkeit überschlagen lässt, so erscheint ebenfalls ein Funken; auch das Knacken wird gehört, fast immer aber wird die Flüssigkeit mit grosser Gewalt auseinandergeschleudert. Wenn man eine Glasröhre mit Wasser füllt und sie an beiden Enden mit Korkstopfen verschliesst, durch welche die Zuleitungsdrähte hindurchgehen, wie es Fig. 157 erläutert, so wird die Röhre durch den Entladungsschlag in der Regel zertrümmert.

Fig. 157.



$\frac{3}{4}$

Selbst offene mit Wasser gefüllte Glasgefässe werden oft zersprengt, wenn ein kräftiger Entladungsschlag zwischen zwei Metallkügelchen im Wasser übergeht. Eine dazu taugliche Vorrichtung ist Fig. 158 dargestellt.

Fig. 158.



Fig. 160.

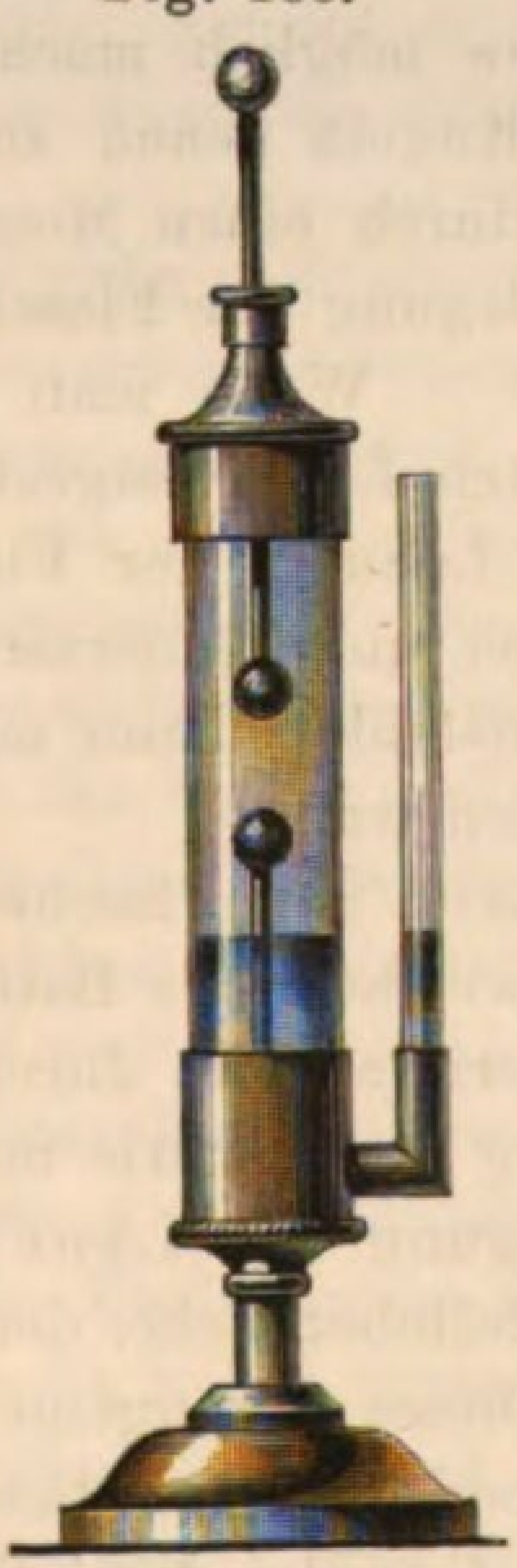
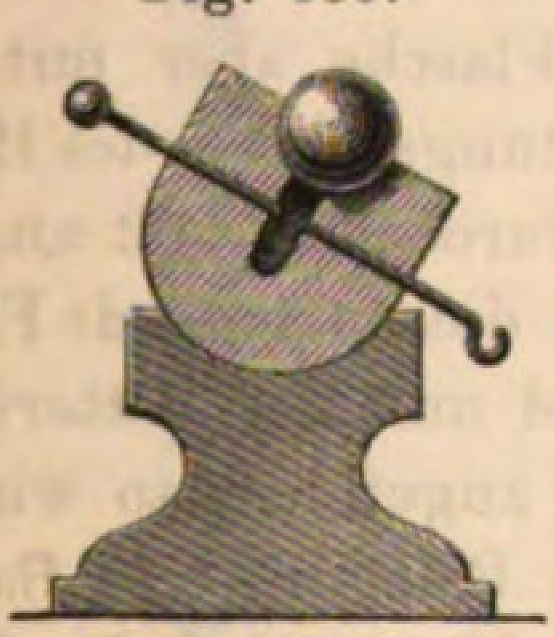


Fig. 159.



In Gasen bringt der Entladungsschlag eine so grosse und plötzliche Expansion hervor, dass sie eine kleine Kugel mit Hülfe des elektrischen Mörsers, Fig. 159, fortschleudern kann. Kinnersley, welcher zuerst diese merkwürdige Erscheinung beobachtete, construirte auch einen Apparat, um ihre Intensität zu bestimmen. Kinnersley's Thermometer ist Fig. 160 abgebildet und wohl schon aus der Figur ohne weitere Erklärung verständlich; wenn zwischen den beiden Kugeln im Inneren des weiteren Glasrohres ein Funken überschlägt, steigt die Flüssigkeit in der

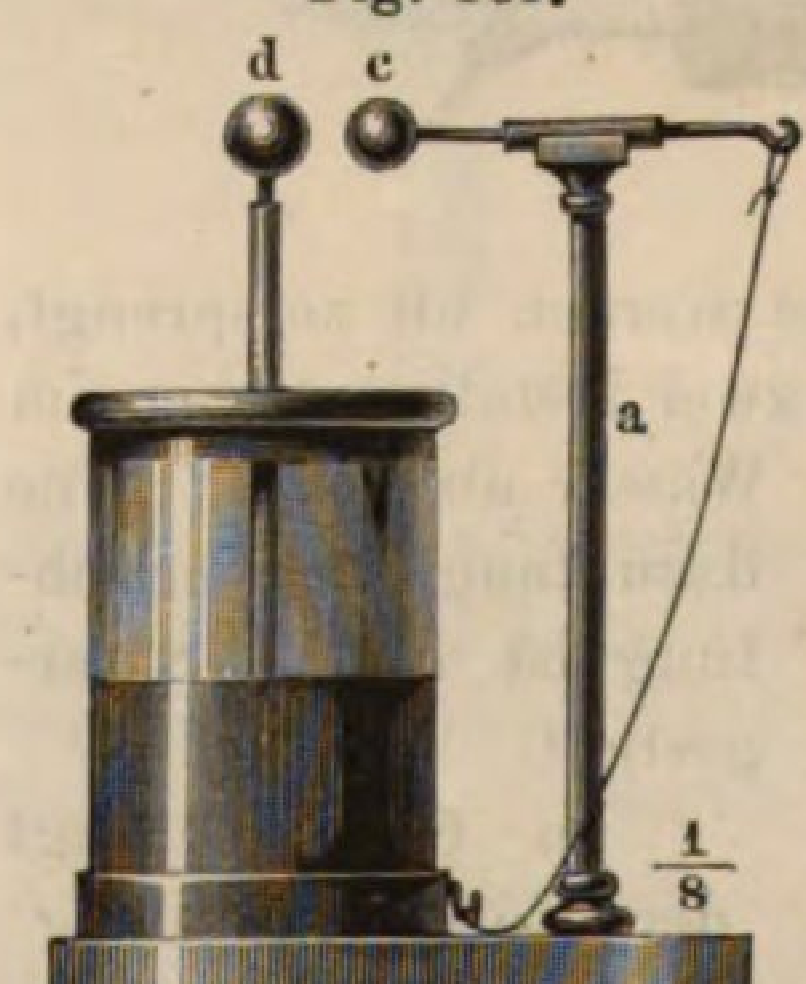
seitlichen Röhre. Die Höhe des Steigens ist ein Maass für die Expansion des Gases.

Auf der Oberfläche einiger Körper lässt der Funken einen Lichtschweif zurück, welcher mehrere Secunden, ja oft über eine Minute lang leuchtet. Auf Kreide ist dieses phosphorische Licht roth oder violett, auf Zucker und krystallisirtem Kalkspath grünlich.

Mit Hülfe einer eigenthümlich construirten thermoelektrischen Säule, welche hier nicht näher beschrieben werden kann, hat Siemens nachgewiesen, dass die Glaswand der Leydener Flasche durch deren Ladung und Entladung erwärmt wird (Pogg. Ann. CXXV).

55 **Die elektrische Maassflasche.** Eine für quantitative Untersuchungen vortreffliche Vorrichtung hat Lane angegeben. Auf demselben Fusse, Fig. 161, auf welchem die Leydener Flasche steht, ist ein verticaler Stab *a* befestigt, durch dessen oberes Ende ein horizontales, an einem Ende mit einer Kugel *c* endigendes Messingstäbchen hindurchgeht. Man kann dieses Stäbchen beliebig vor- und rückwärts schieben und in jeder beliebigen Entfernung von der Kugel *d* der Flasche feststellen. Das Stäbchen ist mit einer Theilung versehen, welche es möglich macht, die Entfernung der beiden Kugeln genau zu messen. Das Stäbchen wird durch einen Messingdraht mit der äusseren Belegung der Flasche metallisch verbunden.

Fig. 161.

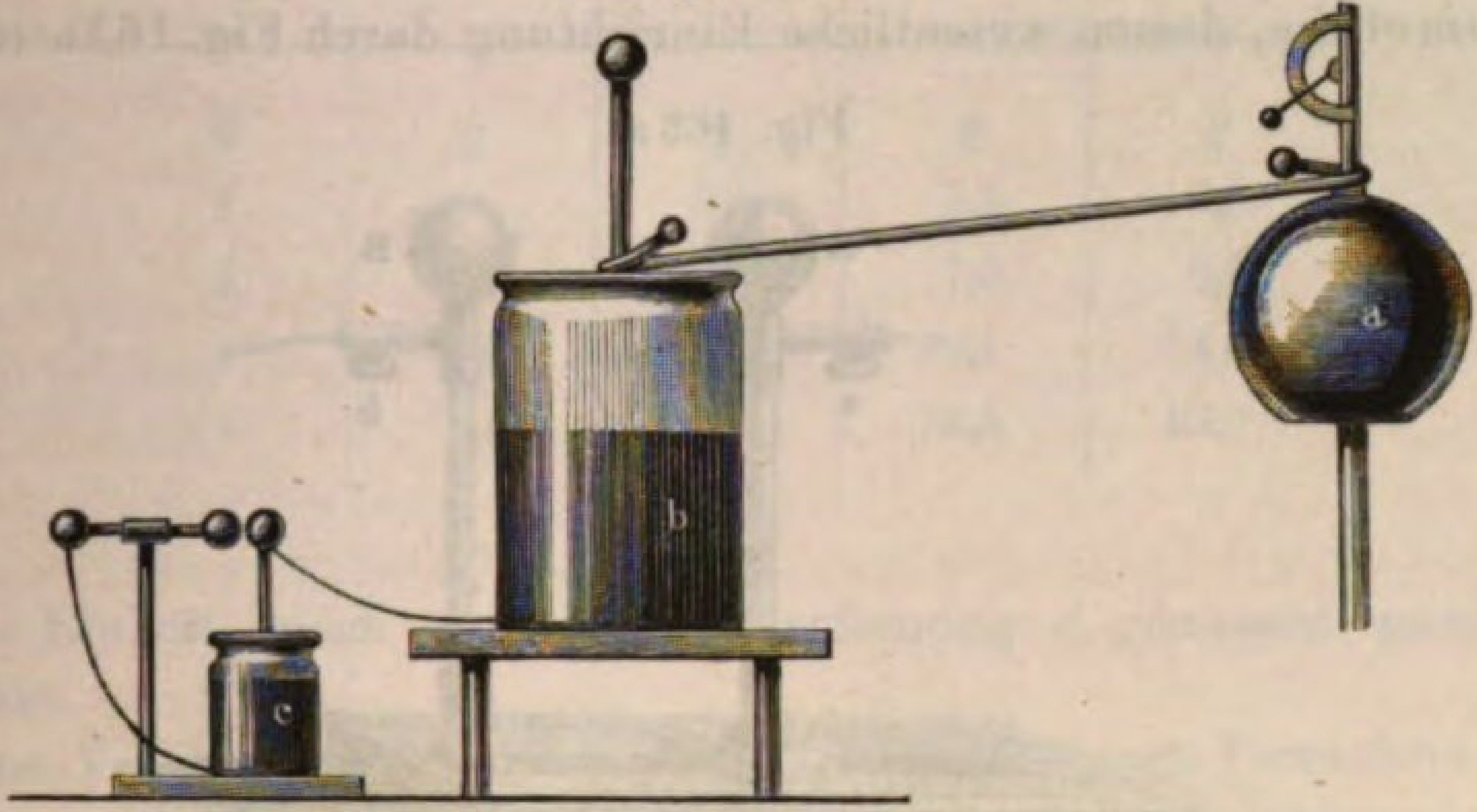


Wenn man die Kugel *c* in einer bestimmten Lage festgestellt hat, so wird der Funken überspringen, wenn die Ladung der Flasche eine gewisse Grösse erreicht hat; so oft nun bei unveränderter Entfernung der Kugeln eine Entladung der Flasche stattfindet, kann man überzeugt sein, dass sie bis zu derselben Gränze geladen war.

Riess wendet die Lane'sche Flasche an, um die Quantität der Elektricität zu messen, mit welcher eine Batterie geladen wird. Zu diesem Zwecke stellte er die Batterie auf ein durch Glasfüsse isolirtes Gestell und setzte die äussere Belegung der Batterie mit der inneren der Lane'schen Flasche, die äussere Belegung der Lane'schen Flasche aber mit einer grossen nicht isolirten Metalloberfläche, den Gasleitungsröhren des Hauses, in leitende Verbindung. Dieses Arrangement ist durch Fig. 162 anschaulich gemacht, wo *a* den Conductor der Maschine, *b* die zu ladende Flasche oder Batterie, *c* die Maassflasche darstellt. Wird nun der Batterie von dem Conductor der Elektrisirmaschine Elektricität zugeführt, so wird die abgestossene positive Elektricität von der äusseren Belegung der Batterie zur inneren Belegung der Lane'schen Flasche wandern und dadurch eine Ladung derselben bewirkt werden; hat aber diese Ladung eine gewisse Gränze erreicht, so folgt eine Entladung der Lane'schen Flasche. So

oft nun bei fortgesetztem Drehen der Maschine eine Entladung der Lane'schen Flasche erfolgt, so oft ist von der äusseren Belegung der Batterie

Fig. 162.



dieselbe Menge positiver Elektricität zu der Maassflasche übergegangen, so oft ist also auch die Ladung der Batterie um eine gleiche Elektricitätsmenge vermehrt worden, die Ladung der Batterie ist also der Anzahl der Selbstentladungen der Maassflasche proportional.

Nachdem sich Riess auf diese Weise ein genaues Maass für die Ladung der Batterie verschafft hatte, konnte er auch über die Wirkungen des Entladungsschlages genauere Versuche anstellen.

Schlagweite der Batterie. Wenn man eine der Kugeln des Ausladers, Fig. 163, mit der äusseren Belegung einer Flasche oder einer Batterie in leitende Verbindung bringt und dann die andere allmälig dem Knopfe nähert, welcher mit der inneren Belegung verbunden ist, so springt ein Funken über, sobald der Abstand der Kugel und des Knopfes bis zu einer bestimmten Grösse abgenommen hat, welche man als Schlagweite bezeichnet. 56

Fig. 163.

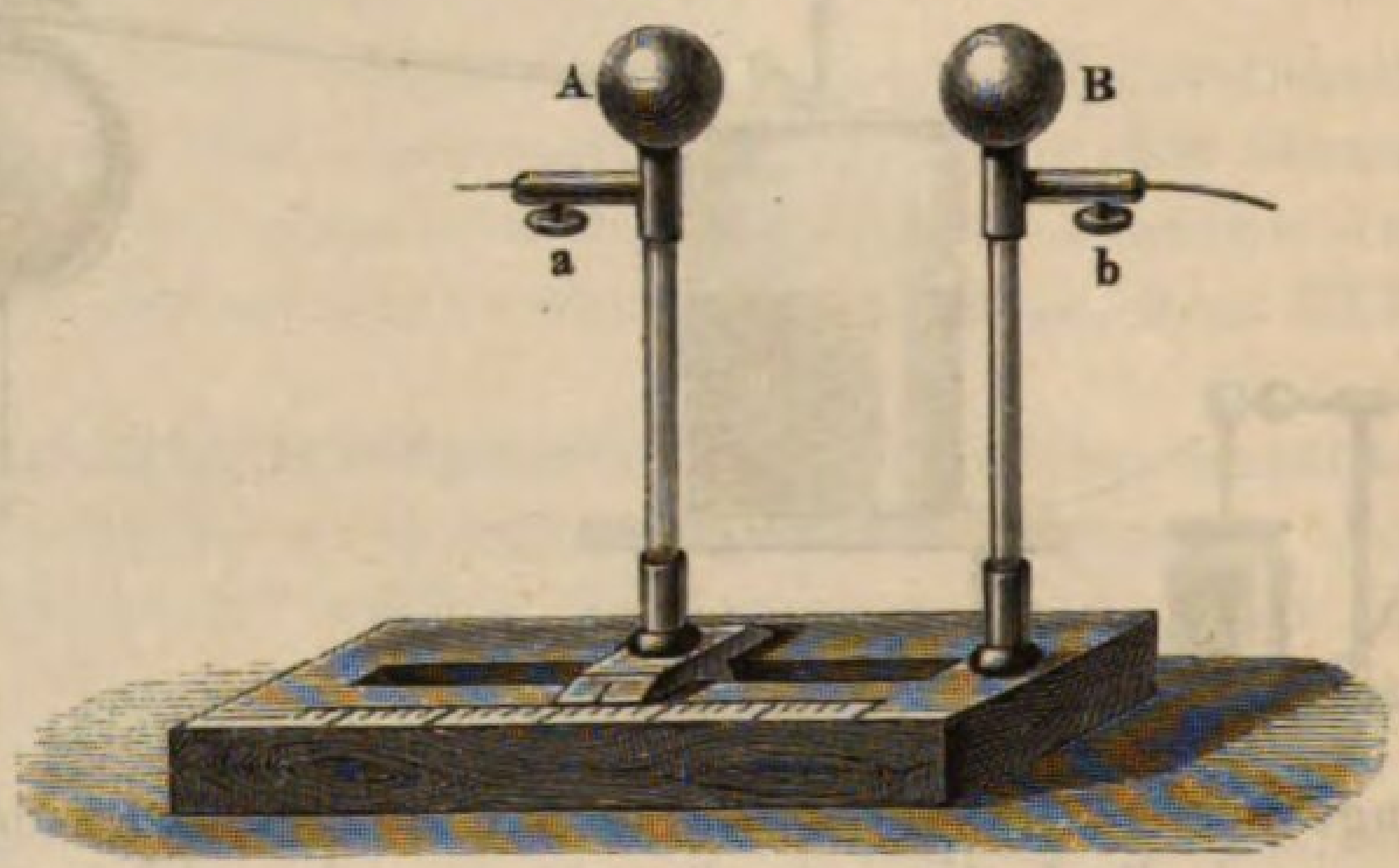


Lane fand, dass bei gleichmässigem Drehen der Elektrisirmaschine, deren Conductor mit dem Knopfe *d* der Maassflasche leitend verbunden ist, die Entladungen doppelt so häufig erfolgen, wenn die Kugel *c* nur $^1/_2'''$ weit von *d* entfernt ist, als wenn diese Entfernung $1'''$ beträgt. Harris und Riess bestätigten dies und fanden ferner, dass die Schlagweite einer Flasche oder einer Batterie überhaupt der Dichtigkeit der angehäuften Elektricität proportional ist, dass also für eine Batterie von 2, 3, 4 u. s. w. ganz gleichen Flaschen eine 2, 3, 4mal so grosse Elektricitätsmenge zugeführt

werden muss, als einer einzigen solchen Flasche, wenn die Schlagweite unverändert bleiben soll.

Um die Schlagweite zu messen, bedient sich Riess des Funkenmikrometers, dessen wesentliche Einrichtung durch Fig. 163a erläutert

Fig. 163 a.



wird. Jede der Messingkugeln A und B ist auf eine von einer Glassäule getragene Messingfassung aufgesetzt, welche mit einem horizontalen Arm zum Einklemmen von Drähten versehen ist. Der eine Glasstab mit der Kugel B steht fest, der andere steht auf einem Schlitten, durch dessen Verschiebung der Abstand der Kugeln beliebig verändert werden kann. Bei dem Riess'schen Funkenmikrometer wird die feinere Verschiebung des Schlittens, welcher die Kugel A trägt, durch eine Mikrometerschraube vermittelt.

Die Versuche wurden in folgender Weise angestellt: Die Kugel A wurde in einer bestimmten Entfernung d von der Kugel B festgestellt, alsdann A durch einen Draht mit der äusseren, B mit der inneren Belegung der Batterie in Verbindung gesetzt und dann die Batterie nach dem im vorigen Paragraphen besprochenen Verfahren mittelst der Maassflasche geladen, es wurde also beobachtet, wieviel (q) Funken der Maassflasche überspringen mussten, bis eine Entladung der Batterie zwischen den Kugeln A und B erfolgte.

Die Resultate einer solchen Versuchsreihe sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt, in welcher s die Zahl der in Anwendung gebrachten (einander gleichen) Flaschen, also die Oberfläche der Batterie bezeichnet, wenn man die Oberfläche einer Flasche zur Einheit nimmt.

s	2	3	4	5
d	q	q	q	q
1	—	3,0	3,5	4,3
2	3,0	5,5	7,0	8,5
3	4,6	8,0	10,1	12,5
4	6,4	10,3	13,5	16,0

Die Einheit, nach welcher die Entfernung d gemessen wurde, ist $1\frac{1}{2}$ Linie.

Eine Vergleichung der in dieser Tabelle gegebenen Versuchsresultate zeigt, dass sich dieselben ziemlich nahe dem oben ausgesprochenen Gesetz anschliessen, welches sich durch die Gleichung

$$d = b\frac{q}{s}$$

ausdrücken lässt, in welcher d, q und s die bekannte Bedeutung haben, b aber einen constanten Factor bezeichnet, dessen Grösse von der Wahl der Einheiten abhängt.

Nach den Versuchen von Riess ist die Schlagweite der Batterien von der Natur des Schliessungsbogens unabhängig. Bei gleicher Ladung fand er die Schlagweite einer Batterie gleich, mochte nun der Schliessungsbogen nur durch einen kurzen dicken Kupferdraht oder durch einen langen dünnen Platindraht gebildet oder mochte endlich eine 8,3‴ lange, 4,5 Zoll dicke mit Wasser gefüllte Glasröhre in den Schliessungsbogen eingeschaltet sein.

Während also die Schlagweite durch die Natur des Schliessungsbogens nicht alterirt wird, hat letztere auf die Stärke des Funkens einen grossen Einfluss. Eine Batterie von 5 Flaschen gab bei einer Schlagweite von $1\frac{1}{2}$‴ durch einen kurzen dicken Kupferdraht entladen einen hellglänzenden Funken mit schmetterndem Knalle, während der Funke nur schwach war, als bei gleicher Ladung und gleicher Schlagweite ein langer dünner Platindraht als Schliessungsbogen angewendet wurde. Bei Einschaltung der Wasserröhre war der Funken kaum merklich.

Wenn die Batterie in der Schlagweite entladen wird, so bleibt noch eine merkliche Ladung zurück, welche bei grösserer Annäherung der Kugeln einen zweiten Entladungsfunken giebt. Man kann sich von dieser Thatsache leicht schon durch die Maassflasche überzeugen. Man stelle die Kugeln der Maassflasche etwa 2 Linien auseinander und lade bis zum Ueberspringen des Funkens; nähert man alsdann die Kugeln noch weiter, so wird alsbald ein zweiter Funken überspringen.

Riess hat gezeigt, dass die Elektricitätsmenge, welche bei der Entladung der Batterie in der Schlagweite verschwindet, immer in demselben Verhältniss zur ganzen Ladung stehe, mag nun der Schliessungsbogen durch kurze dicke oder durch lange dünne Metalldrähte gebildet sein. Nach den Versuchen von Riess verschwindet nämlich bei der Entladung in der Schlagweite 0,846 oder $^{11}/_{13}$ der ganzen Ladung, so dass nur $^{2}/_{13}$ derselben zurückbleiben.

Nach dieser Thatsache lässt sich leicht der Vorgang bei der gewöhnlichen Entladung ermitteln, bei welcher eine mit der äusseren Belegung in Verbindung stehende bewegliche Kugel dem festen Knopf der inneren Belegung bis zur Berührung genähert wird. Wenn die bewegliche Kugel in die Schlagweite, welche wir mit d bezeichnen wollen, gekommen ist, so verschwinden $^{11}/_{13}$ der Ladung, es bleiben $^{2}/_{13}$ zurück; es kann erst wieder eine Entladung stattfinden, wenn die bewegliche Kugel bis auf $^{2}/_{13}d$ genähert ist, bei welcher Entfernung nun abermals $^{11}/_{13}$ der noch übrigen Ladung verschwinden; eine dritte Ladung erfolgt, wenn die bewegliche Kugel auf $(^{2}/_{13})^{2}d$ genähert ist u. s. w. Beträgt z. B. die ursprüngliche Schlagweite $1^{1}/_{2}$ Linien, so erfolgen die Entladungen bei folgenden Entfernungen:

1,5 0,23 0,035 0,0055 Linien,

bei welchen schon die dritte nicht mehr von der Berührung zu unterscheiden ist. Bei dem gewöhnlichen Entladungsverfahren wird also der Schliessungsbogen von mehreren Entladungen ergriffen, die rasch nach einander stattfinden.

Bei der Entladung in der Schlagweite verschwindet eine so bedeutende Menge von Elektricität, dass nicht etwa eine geringe Annäherung der Kugeln eine zweite Entladung zur Folge hat, sondern dass die Schlagweite auf $^{2}/_{13}$ der ursprünglichen reducirt wird. Dass eine so grosse Menge von Elektricität, dass nämlich $^{11}/_{13}$ der ganzen Ladung verschwinden, scheint darauf hinzudeuten, dass auch die Entladung in der Schlagweite eine successive ist; durch den Uebergang der ersten Elektricitätsmenge wird die Luft verdünnt, und dadurch der Uebergang neuer Elektricitätsmengen möglich gemacht, welche nicht hätten übergehen können, wenn der zu überwindende Widerstand nicht durch die Verdünnung der Luft vermindert worden wäre. Der Uebergang der Elektricität dauert fort, bis die Ladung der Batterie so schwach geworden ist, dass bei der constanten Entfernung der Kugeln trotz des wegen der verdünnten Luft geringen Widerstandes kein Funken mehr übergehen kann. Hat nun die Luft zwischen den Kugeln ihre gewöhnliche Dichtigkeit wieder erlangt, so ist nun eine bedeutende Annäherung der Kugeln nöthig, um eine abermalige Entladung möglich zu machen. Bei der Entladung in der Schlagweite wird also ihre Elektricität successiv vernichtet.

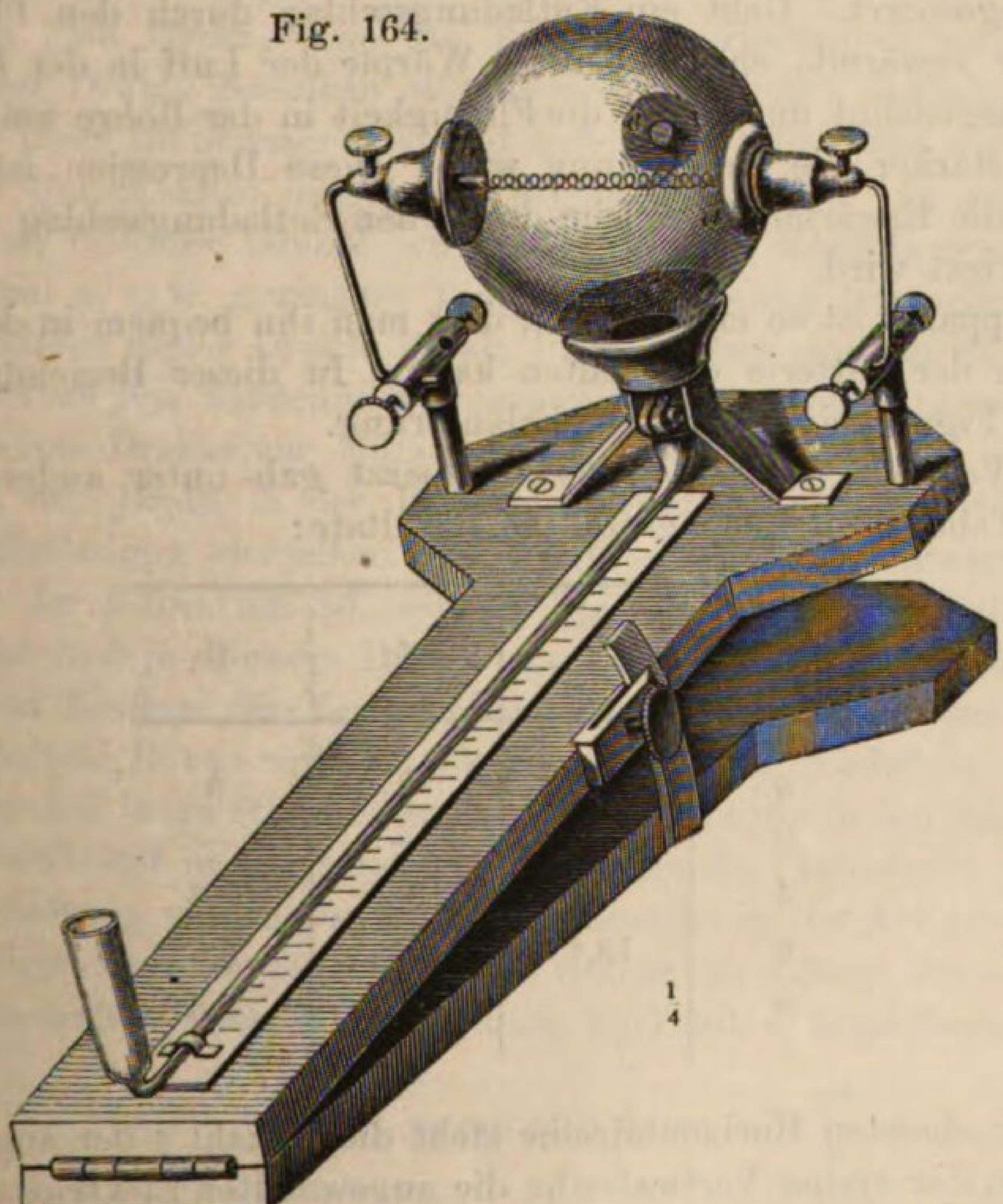
Ein Beweis für diese successive Entladung ist der Umstand, dass der Rest der Entladung viel bedeutender bleibt, dass also eine geringere Menge von Elektricität bei der Entladung vernichtet wird, wenn schon die erste

übergehende Elektricitätsmenge eine Unterbrechung des Schliessungsbogens veranlasst, wie dies z. B. der Fall ist, wenn ein dünner, in dem Schliessungsbogen eingeschalteter Draht durch den Entladungsschlag geschmolzen wird, ein Fall, den wir später noch genauer betrachten werden.

Wärmeentwickelung durch den Entladungsschlag. Um die Gesetze der Erwärmung dünner Drähte durch den Entladungsschlag zu ermitteln, wandte Riess, wie schon früher Harris, ein Luftthermometer an, durch dessen Kugel ein dünner Platindraht hindurchging, welcher in den Weg des Entladungsschlages eingeschaltet wurde. 57

Fig. 164 stellt ein Riess'sches elektrisches Luftthermometer in $^1/_4$ der natürlichen Grösse dar. Die Glaskugel, welche ungefähr 3 Zoll im

Fig. 164.



Durchmesser hat, ist an drei Stellen durchbohrt. Die Oeffnungen bei *a* und *b* stehen einander diametral gegenüber und sind mit durchbohrten Metallfassungen versehen, zwischen welchen der Platindraht ausgespannt wird; die dritte Oeffnung *c* ist ebenfalls mit einer Metallfassung versehen, deren Oeffnung durch einen Messingstöpsel verschlossen ist. Durch Oeffnen dieses Stöpsels unmittelbar vor dem Versuch kann man die Luft im Inneren der Kugel mit der äusseren ins Gleichgewicht setzen, worauf dann der Stöpsel wieder eingesetzt wird.

Der in der Kugel befindliche spiralförmig gewundene Platindraht hatte bei den meisten Riess'schen Versuchen eine Länge von 60''' und einen Durchmesser von nahe 0,04 Linien.

An die Kugel ist eine Glasröhre von ungefähr 1/2 Linie Weite im Lichten angeschmolzen, welche auf einem mit einer Theilung versehenen Brette befestigt ist und mit einem trichterförmigen Gefässe endigt. Man kann die Röhre nach Belieben mehr oder weniger stark gegen die Horizontale neigen.

Giesst man in das trichterförmige Gefässchen eine gefärbte Flüssigkeit, etwa gefärbtes Wasser, so wird es bis zu einer gewissen Stelle in der Röhre aufsteigen. Wenn nun, nachdem alles im Gleichgewicht ist, die Oeffnung bei *c* wieder geschlossen wird, so ist die Luft in der Kugel vollständig abgesperrt. Geht ein Entladungsschlag durch den Platindraht, so wird er erwärmt, er theilt diese Wärme der Luft in der Kugel mit, sie wird ausgedehnt und treibt die Flüssigkeit in der Röhre um so weiter herab, je stärker die Erwärmung war. Diese Depression ist also ein Maass für die Erwärmung, welche durch den Entladungsschlag im Platindrahte bewirkt wird.

Der Apparat ist so eingerichtet, dass man ihn bequem in den Schliessungsbogen der Batterie einschalten kann. In dieser Beziehung bedarf jedoch die Figur keiner weiteren Erläuterung.

Eine Versuchsreihe mit diesem Apparat gab unter anderen die in folgender Tabelle zusammengestellten Resultate:

s	2	4	6
q	h	h	h
2	1,5	—	—
4	6,7	3,2	2,6
6	13,4	7,3	5,5
8		14,1	9,3

In der obersten Horizontalreihe steht die Anzahl s der angewandten Flaschen, in der ersten Verticalreihe die angewandten Elektricitätsmengen q, gemessen durch die Zahl der Entladungsfunken der Maassflasche. Die entsprechenden Depressionen h des Thermometers sind in Linien ausgedrückt. Als z. B. die Elektricitätsmenge 4 auf 2 Flaschen vertheilt war, erhielt man die Depression 6,7 Linien. Dieselbe Elektricitätsmenge auf 4 und 6 Flaschen vertheilt, gab nur die Depression 3,2 und 2,6. Bei gleicher Ladung verhält sich also die entwickelte Wärmemenge nahezu umgekehrt wie die Grösse der Oberfläche, auf welche sie vertheilt wird.

Verfolgen wir nun eine Verticalreihe der Tabelle. Bei Anwendung von 2 Flaschen giebt die Elektricitätsmenge 2 die Depression 1,5. Die

doppelte Elektricitätsmenge 4 giebt die Depression 6,7, also ungefähr die 4fache, die dreifache Elektricitätsmenge 6 giebt die Depression 13,4, also die 9fache Wirkung. Bei unveränderter Oberfläche der Batterie verhält sich also die Erwärmung im Platindraht wie das Quadrat der Elektricitätsmenge oder es ist

$$h = n\frac{q^2}{s},$$

wenn h die Depression der Flüssigkeitssäule, q die durch Funken der Maassflasche gemessene Ladung der Batterie und s die Anzahl der (unter sich gleichen) Flaschen bezeichnet, welche zur Batterie vereinigt sind. n ist ein constanter Factor, für welchen sich aus der obigen Versuchsreihe der Mittelwerth 0,88 ergiebt.

Riess fand ferner, dass die Temperaturerhöhungen verschiedener, gleich langer Drähte desselben Metalls sich umgekehrt verhalten wie die Biquadrate ihrer Halbmesser oder mit anderen Worten, dass sie den Quadraten der Querschnitte umgekehrt proportional sind. In einem 2mal, 3mal u. s. w. dickeren Drahte wird also derselbe Entladungsschlag eine 16mal, 81mal u. s. w. geringere Temperaturerhöhung hervorbringen; da aber die Massen dieser Drähte 4mal, 9mal grösser sind, so ist klar, dass die in denselben frei werdende Wärmemenge 4mal, 9mal u. s. w. geringer ist als in einem Drahte von einfacher Dicke.

Wenn der Draht in der Thermometerkugel unverändert bleibt, so wird bei Entladung derselben Elektricitätsmenge die Erwärmung des Drahtes in der Kugel um so geringer, je länger man den Schliessungsbogen macht und je dünnere Drähte man in demselben einschaltet.

Um den Einfluss der Verlängerung des Schliessungsbogens zu untersuchen, schaltete Riess mittelst des Henley'schen Ausladers der Reihe nach verschieden lange Stücke desselben Kupferdrahtes in den Schliessungsbogen ein, während im Thermometer stets derselbe Platindraht blieb. Mit jeder Einschaltung wurde nun eine Versuchsreihe in der Art gemacht, wie die auf voriger Seite angeführte. Wir wollen die Länge des eingeschalteten Kupferdrahtes (welcher 0,29''' dick war) mit λ bezeichnen.

Für $\lambda = 0$ ergab sich $h = 0{,}78\,\frac{q^2}{s}$

„ $\lambda = 9{,}6'$ „ „ $h = 0{,}69\,\frac{q^2}{s}$

„ $\lambda = 49{,}0$ „ „ $h = 0{,}48\,\frac{q^2}{s}$

„ $\lambda = 98{,}4$ „ „ $h = 0{,}34\,\frac{q^2}{s}$

„ $\lambda = 147{,}7$ „ „ $h = 0{,}27\,\frac{q^2}{s}$

„ $\lambda = 246{,}4$ „ „ $h = 0{,}21\,\frac{q^2}{s}$.

Wir sehen aus dieser Zusammenstellung, dass die Erwärmung mit zunehmender Länge des Einschaltungsdrahtes für gleiche Werthe von $\frac{q^2}{s}$ fortwährend abnimmt.

Die Werthe von h sind offenbar den Factoren von $\frac{q^2}{s}$ proportional. Für $\frac{q^2}{s} = 1$ besteht zwischen h und λ folgende Beziehung:

$$h = \frac{0,78}{1 + 0,013\,\lambda} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

Für $\lambda = 0$ giebt diese Gleichung $h = 0,78$; für $\lambda = 49$ giebt sie $h = 0,476$; für $\lambda = 147,7$ giebt sie 0,267 u. s. w., also lauter Werthe, die mit den oben mitgetheilten Beobachtungsresultaten sehr gut stimmen, so dass wir diese Gleichung wirklich für den Ausdruck der Beziehung zwischen h und λ nehmen können.

Die Gleichung 1) auf allgemeine Form gebracht, heisst

$$h = \frac{a}{1 + b\lambda},$$

woran Riess folgende Betrachtung anschliesst.

Durch Verlängerung des Schliessungsbogens wird die Erwärmung vermindert. Schaltet man aber nun statt eines Metalldrahtes ein Stück feuchten Holzes oder eine mit Wasser gefüllte Glasröhre als Zwischenleitung ein, so sind die stärksten Ladungen der Batterie nicht mehr im Stande, auch nur eine Senkung von 0,1''' zu bewirken. Hier aber ist die Entladung der Batterie nicht mehr momentan, wie bei der Einschaltung des längsten Kupferdrahtes, sie erfordert eine wahrnehmbare Zeit. Daraus lässt sich schliessen, dass wir auch einen Unterschied in der Entladungszeit beobachten würden, je nachdem ein kurzer oder ein langer Kupferdraht eingeschaltet ist, wenn wir mit schärferen Sinnen begabt wären. Die Erwärmung des Platindrahtes im Thermometer scheint mit der Zeit, welche die Entladung dauert, im einfachen umgekehrten Verhältniss zu stehen. Ist eine Erwärmung a beobachtet worden, indem eine gewisse Elektricitätsmenge von gewisser Dichtigkeit in der Zeit 1 entladen wurde, so wird die Entladungszeit um $b\lambda$ vergrössert, wenn ein Draht von der Länge λ eingeschaltet wird, und die Erwärmung ist nun

$$h = \frac{a}{1 + b\lambda},$$

oder die Erwärmung eines Drahtes durch die Entladung der elektrischen Batterie ist der Dauer der Entladung umgekehrt proportional; die Dauer der Entladung wird durch Verlängerung des Schliessungsdrahtes um eine Zeit verzögert, welche der zugesetzten Drahtlänge proportional ist.

Wenn in den Schliessungsbogen der Reihe nach mittelst eines Henley'-

schen Ausladers gleich lange und gleich dicke Drähte verschiedener Metalle eingeschaltet werden, so wird durch Entladung gleicher Ladungen der Batterie der Draht in der Thermometerkugel sehr ungleiche Erwärmungen erfahren, die eingeschalteten Drahtstücke verzögern also die Entladung nicht gleich stark. Hat man einmal einen Kupferdraht, dann einen Platindraht von gleicher Länge und Dicke eingeschaltet, so wird für den Kupferdraht eine stärkere Erwärmung in der Thermometerkugel wahrgenommen werden; wenn man aber bei gleicher Dicke den Platindraht im Auslader 6,44mal kürzer macht als den Kupferdraht, so beobachtet man unter sonst gleichen Umständen für beide eine gleiche Temperaturerhöhung des Platindrahtes in der Thermometerkugel; ein Platindraht verzögert also die elektrische Entladung gerade eben so stark, wie ein gleich dicker 6,44mal längerer Kupferdraht, das Platin hat also eine 6,44mal stärkere Verzögerungskraft als das Kupfer, oder auch die Leitungsfähigkeit des Platins ist 6,44mal geringer als die des Kupfers.

Riess hat den specifischen Leitungswiderstand verschiedener Metalle durch zahlreiche Versuche ermittelt, welche sich auf das eben angedeutete Princip stützen. Wir werden weiter unten ausführlicher davon reden.

Als im Thermometer sich ein Platindraht von 59''' Länge und 0,041''' Radius, im Auslader aber ein Kupferdraht von 142''' Länge und 0,042''' Halbmesser befand, gab eine der obigen ähnliche Beobachtungsreihe

$$h = 1{,}51 \frac{q^2}{s}.$$

Wurden nun die Drähte vertauscht, so dass der Kupferdraht im Thermometer, der Platindraht aber im Auslader war, so kam

$$h = 0{,}46 \frac{q^2}{s}.$$

Derselbe Entladungsschlag bringt also in beiden Drähten sehr ungleiche Erwärmungen hervor. Aus diesen und ähnlichen mit anderen Metallen angestellten Versuchen gelangte Riess, alle hier influirenden Umstände in Rechnung ziehend, zu dem Resultat, dass die durch den elektrischen Entladungsschlag caeteris paribus in den Drähten frei werdende Wärmemenge der verzögernden Kraft dieser Metalle proportional ist.

Es sind schon oben, Seite 154, im Allgemeinen die Wirkungen angeführt worden, welche ein starker Entladungsschlag hervorbringt, wenn er durch einen dünnen Metalldraht hindurchgeführt wird. Auch diese Effecte hat Riess einer genaueren Prüfung unterworfen und hat gezeigt, dass die Schmelzung nicht eine directe Wirkung der Erwärmung durch den Entladungsschlag sein kann. Von seinen Beobachtungen der Temperaturerhöhung etwas dickerer Drähte für schwächere Ladungen ausgehend, konnte Riess die Temperaturerhöhung eines dünnen Drahtes bei stärkerer Ladung berechnen, es ergab sich durch diese Rechnung 211° für die Temperaturerhöhung eines Platindrahtes bei einem Entladungsschlage, welcher den Draht schmolz. Eine solche Temperatur ist aber nicht zum

Glühen, viel weniger zum Schmelzen des Platins hinreichend; das Metall schmilzt schon, ehe es durch Steigerung seiner Temperatur schmelzen würde; in der Schmelzung erkennt deshalb Riess eine elektrische Wirkung, die von der Erwärmung durch Elektricität getrennt ist.

Bei fortgesetzter Steigerung der Ladung treten noch vor dem Eintreten des Glühens eine Reihe von Erscheinungen am Drahte auf, welche auf ein gewaltsames Eindringen, auf eine mechanische Wirkung der Elektricität hindeuten. Der Draht wird sichtbar erschüttert, es treten kleine Funken an seinen Enden auf, es werden von seiner Oberfläche Theilchen losgerissen, die sich in Gestalt eines dichten Dampfes von ihm erheben, der Draht erhält scharfe Einbiegungen, die mit der Stärke der Ladung an Zahl und Stärke zunehmen, endlich bei immer mehr gesteigerter Ladung wird er rothglühend, weissglühend, er wird zerrissen und zersplittert. Bei Platindrähten zeigen die Stücke oft noch keine Schmelzung, die erst bei noch stärkeren Ladungen auftritt; die Zerreissung geht also der Schmelzung voran. Bei leicht oxydirbaren Metallen steigert sich die Temperatur noch durch Aufnahme von Sauerstoff, und diese erhöhte Temperatur erleichtert dann auch die Schmelzung. Ueberall, wo die elektrische Schmelzung eintritt, ist eine mechanische Trennung der geschmolzenen Masse sichtbar, die Schmelzung kann daher nur als Wirkung der Hitze auf sehr fein zertheiltes Metall betrachtet werden. Die Elektricität schmilzt die Metalle durch gleichzeitige Zersplitterung und Erhitzung.

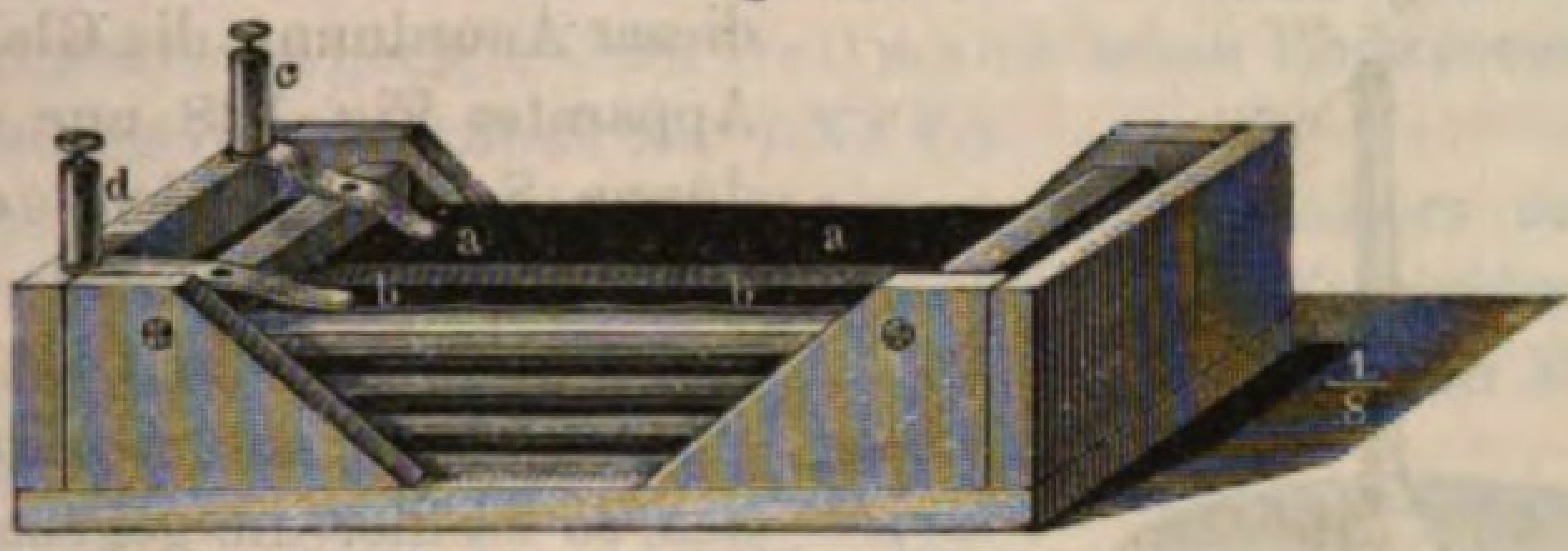
58 **Der Condensator.** Ein jeder Apparat, in welchem man durch die gegenseitige Anziehung der ungleichnamigen Elektricitäten eine grössere Anhäufung von Elektricität zu Stande bringen kann, als es ohne die Wirkung der Influenz möglich wäre, ist ein Verdichter, also ein Condensator der Elektricität. Dieser Definition zu folge ist also die Franklin'sche Tafel sowohl wie die Leydner Flasche und der Apparat Fig. 138 S. 142 ein elektrischer Condensator. Gewöhnlich wird diese Bezeichnung aber nur für solche Apparate gebraucht, bei welchen die isolirende Schicht, welche die beiden Belegungen trennt, ungleich dünner ist als das Glas der Franklin'schen Tafel und der Leydener Flasche, für Apparate also von grösserer condensirender Kraft, welche aber nur in solchen Fällen in Anwendung kommen können, wo man mit Elektricität von sehr geringer Spannung zu thun hat.

Die Condensatoren im engeren Sinne des Wortes zerfallen aber wieder in zwei wesentlich verschiedene Abtheilungen, nämlich 1) in solche, bei welchen die beiden Belegungen ein- für allemal fest sind und also in unveränderlicher gegenseitiger Lage bleiben, und 2) solche, bei welchen die beiden Belegungen von einander entfernt werden können.

Die Apparate der ersten Classe sind im Wesentlichen ganz so construirt, wie die Franklin'sche Tafel, nur ist die Glasplatte durch Wachstaffet oder durch ein dünnes Glimmerblatt ersetzt. Wir werden weiter unten mehrere Anwendungen derartiger Condensatoren kennen lernen.

Fig. 165 stellt einen Condensator von Wachstaffet dar, wie ihn Stöhrer an dem später zu beschreibenden Funkeninductor angebracht

Fig. 165.



hat. Ein ungefähr $2^1/_2$ Meter langer, 28 Centimeter breiter Streifen von gut gefirnisstem Wachstaffet ist auf beiden Seiten in entsprechender Weise mit Stanniol belegt, welcher mit Schellackfirniss aufgeklebt wird. Dieser Streifen ist nun vielfach zusammengelegt und zwischen je zwei Lagen ein dünnes Brettchen von trocknem Tannenholz eingelegt. Das Ganze befindet sich dann in einem Kasten, welcher als Schieblade in das Gestell des bezeichneten Apparates eingeschoben wird. *a* ist das Ende der einen, *b* das über den Rand des Wachstaffets etwas übergreifende Ende der anderen Belegung; zwischen *a* und *b* bleibt natürlich ein hinlänglich breiter Streifen Wachstaffet unbelegt. Ein federnder Kupferstreifen führt von dem Messingsäulchen *c* zur einen, eine zweite Kupferfeder führt vom Messingsäulchen *d* zur anderen Belegung.

Dieser Condensator ist nur für Elektricität von äusserst geringer Spannung anwendbar, indem er schon nicht mehr ausreicht, um die von einer etwas starken Zamboni'schen Säule herrührende Ladung zu halten. Für solche stärkere Ladungen muss die Isolation vollständiger sein, man muss Condensatoren anwenden, bei welchen die isolirende Schicht durch ein Glimmerblatt gebildet wird. Um eine grössere Oberfläche zu erhalten, kann man dann mehrere solcher belegten Glimmerplatten zu einer Batterie verbinden.

Für grössere Inductionsapparate fand Stöhrer die Condensatoren von Wachstaffet ungenügend.

Die zweite Classe von Condensatoren ist ganz nach Art des Apparates Fig. 138 eingerichtet, und dient dazu, Elektricität solcher Elektricitätsquellen sichtbar zu machen, deren Spannung nicht genügend ist, um direct auf das Elektrometer zu wirken. Indem wir die unvollkommneren Instrumente der Art übergehen, soll hier zunächst von dem Condensator die Rede sein, wie er in Verbindung mit dem Goldblattelektrometer angewendet wird. — Auf das Goldblattelektrometer wird eine Metallplatte aufgeschraubt, wie man Fig. 166 (a. f. S.) sieht. Diese Platte muss oben möglichst eben abgeschliffen und mit einer ganz dünnen Schicht von Schellackfirniss überzogen sein. Eine zweite auf dieselbe Weise präparirte Platte, welche mit einem isolirenden Stiele versehen ist, wird nun mit ihrer gefirnissten Fläche auf die andere gesetzt, so dass die beiden Metall-

platten nur noch durch die dünne Firnissschicht getrennt sind, sonst aber so vollkommen wie möglich auf einander passen.

Fig. 166.



Man übersieht leicht, dass bei dieser Anordnung die Glasplatte des Apparates Fig. 138 nur durch eine dünne Schellackschicht ersetzt ist. Weil aber die isolirende Schicht so ausserordentlich dünn ist, die beiden Platten also einander sehr nahe stehen, so ist hier die gegenseitige Bindung eine sehr vollständige. Bringt man die untere Condensatorplatte mit einer schwachen Elektricitätsquelle, etwa mit dem einen Pol einer kleinen Zamboni'schen Säule (deren Beschreibung später folgt) in Berührung, während man die obere ableitend mit dem Finger berührt, so wird der Condensator ganz auf dieselbe Weise geladen, wie eine Leydener Flasche, deren innere Belegung mit dem Conductor der Elektrisirmaschine in Verbindung steht, während die äussere nicht isolirt ist. Der ganze Unterschied liegt nur darin, dass man das einemal mit einer Elektricitätsquelle von grosser, das anderemal mit einer solchen von sehr geringer elektrischer Spannung zu thun hat.

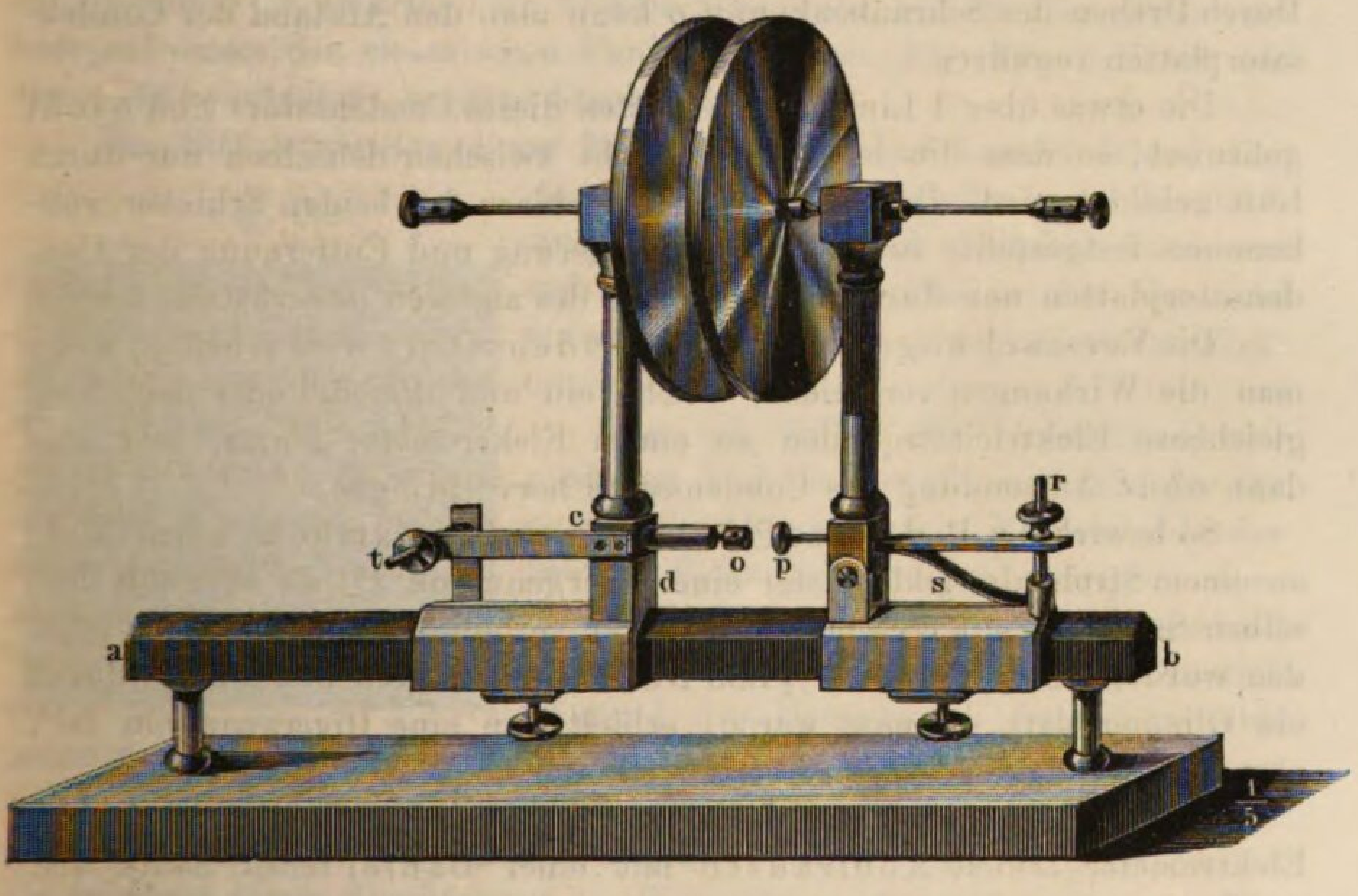
Ist auf diese Weise der Condensator geladen worden, so wird der Finger von der oberen, die Elektricitätsquelle von der unteren Platte entfernt und dann die obere Platte abgehoben (und zwar möglichst vertical, damit die Berührung der beiden Platten in allen Punkten in demselben Momente aufgehoben wird); dadurch wird die bis dahin gebundene Elektricität der unteren Platte frei, ein Theil derselben verbreitet sich über die Goldblättchen und bewirkt eine Divergenz derselben, welche die Elektricitätsquelle direct entweder gar nicht oder doch nur in ungleich geringerem Maasse hervorzubringen im Stande war.

Da man die Condensatorplatten in der Combination mit dem Goldblattelektrometer nicht immer auf absolut gleiche Weise auf einander setzen kann, da man ebensowenig eines vollkommen gleichmässigen Abhebens sicher ist, so haben die mit einer solchen Vorrichtung erhaltenen Resul-

tate nicht die zu quantitativen Untersuchungen nöthige Genauigkeit. Um diese zu erlangen, gab Kohlrausch dem Condensator eine andere Einrichtung und brachte ihn statt mit einem Goldblattelektrometer mit dem für Messungen weit geeigneteren Dellmann'schen Elektrometer Fig. 123 in Verbindung (Pogg. Annal. Bd. LXXV.).

Nachdem Kohlrausch die Form des Condensators mehrmals abgeändert und verbessert hatte, blieb er bei einer Einrichtung desselben stehen, welche mit einigen constructiven Abänderungen in Fig. 167 dargestellt ist.

Fig. 167.



Auf einem durch zwei Messingstäbchen getragenen Strahlprisma ab sind, ähnlich wie bei einem Stangenzirkel, zwei genau passende Messinghülsen verschiebbar, von denen jede ein Säulchen von Holz trägt. In dem Kopf eines jeden dieser Säulchen ist ein Messingdraht mit Schellack eingekittet, welcher auf der einen Seite mit einer Klemmschraube, auf der anderen Seite aber mit einer Verstärkung endigt, in welche die Condensatorplatte eingeschraubt werden kann, welche ungefähr 6 Zoll Durchmesser hat.

Da es besonders wichtig ist, dass die Condensatorplatten einander vollkommen parallel stehen, so ist die Vorrichtung getroffen, dass die eine der Platten (in unserer Figur die auf der rechten Seite) ein wenig mehr nach vorn oder nach hinten geneigt, die andere aber um eine verticale Axe etwas nach rechts oder links gedreht werden kann. Wie das erstere mit Hülfe der Schraube r und der Feder s geschieht, ist wohl aus der Figur ohne weitere Erläuterung verständlich. — Das Holzsäulchen links ist auf einem vierseitigen Metallstück c befestigt, welches mittelst einer

gut geschnittenen Schraube in dem Messingstück *d* steckt. An *c* ist ein messingener Hebel angeschraubt, welchen man nur etwas vor- oder zurückzuschieben braucht, um die Säule nach der einen oder anderen Richtung um ihre verticale Axe zu drehen. Die Bewegung des Hebels geschieht mittelst der Schraube *t* und einer Spiralfeder, welche denselben nach vorn drückt.

Sind die Platten genau parallel gestellt, so ist es ferner von Wichtigkeit, dass man sie nicht über eine gewisse Gränze nähern und ihren Abstand reguliren kann. Es wird dies dadurch bewerkstelligt, dass bei Annäherung der Platten der Schraubenkopf *o* an das Plättchen *p* anstösst. Durch Drehen des Schraubenkopfes *o* kann man den Abstand der Condensatorplatten reguliren.

Die etwas über 1 Linie dicken Platten dieses Condensators sind nicht gefirnisst, so dass die isolirende Schicht zwischen denselben nur durch Luft gebildet wird. Beim Gebrauch wird einer der beiden Schieber vollkommen festgestellt, so dass die Annäherung und Entfernung der Condensatorplatten nur durch Verschiebung des anderen bewerkstelligt wird.

Die Verstärkungszahl eines Condensators wird erhalten, wenn man die Wirkungen vergleicht, welche ein und dieselbe oder doch vergleichbare Elektricitätsquellen an einem Elektrometer einmal mit und dann ohne Anwendung des Condensators hervorbringen.

So bewirkte z. B. der eine Pol einer schwachen Zamboni'schen Säule an einem Strohhalmelektrometer eine Divergenz von 2°; als aber mit derselben Säule ein mit diesem Elektrometer verbundener Condensator geladen wurde, dessen Platten $1\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser hatten und welche durch ein Glimmerblatt getrennt waren, erhielt man eine Divergenz von 30°, also eine ungefähr 15mal grössere Wirkung.

An einem zu genauen Messungen eingerichteten Dellmann'schen Elektrometer erhielt Kohlrausch mit einer Daniel'schen Säule von 60 Plattenpaaren (die Beschreibung derselben wird später folgen) eine Ablenkung von 23°. Ein einziger Becher dieser Säule, also eine Elektricitätsquelle von 60mal geringerer Spannung, brachte mit Hülfe eines Condensators, dessen Platten $5\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser hatten, an demselben Elektrometer eine Ablenkung von 65° hervor. Da sich nun für jenes Elektrometer die elektrischen Ladungen, welche eine Ablenkung von 23° und 65° bewirken, zu einander verhalten wie 2,25 zu 9,74 (Pogg. Annal. Bd. LXXII, S. 385), so ist die Verstärkungszahl jenes Condensators $60 \frac{9,74}{2,25}$, also nahezu 260.

Der Condensator ist, wie wir bald sehen werden, besonders für die Lehre vom Galvanismus von grosser Wichtigkeit geworden.

59 **Die Lichtenbergischen Figuren.** Wenn man den Knopf einer mit positiver Elektricität geladenen Leydener Flasche mit einer Scheibe von Pech oder Schellack berührt, und alsdann *semen lycopodii*,

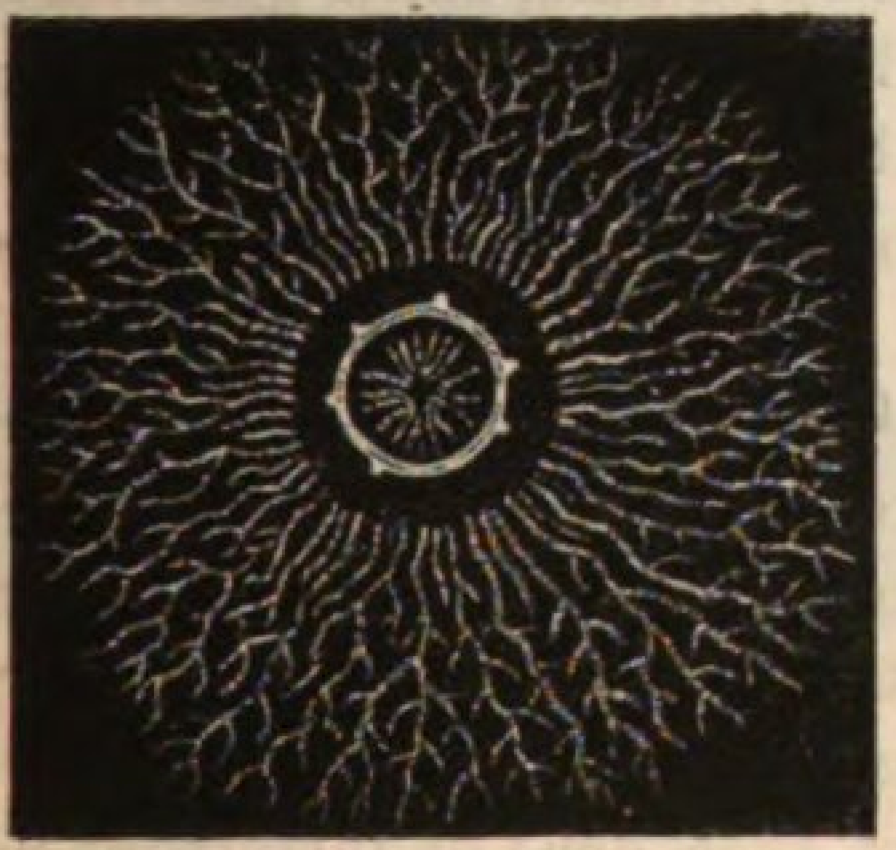
gepulvertes Colophonium, Schwefelblumen oder Mennig aus einem leinenen Beutelchen auf diese Scheibe siebt, so entsteht eine **Staubfigur**, welche durch dendritisch sich verästelnde Strahlen gebildet wird, die von dem berührten Punkte ausgehen.

War dagegen die innere Belegung der Leydener Flasche mit **negativer** Elektricität geladen, so bildet sich diese Strahlenfigur nicht, es entstehen nur rundliche Flecken, deren Ausdehnung bei weitem geringer ist als die der positiven Strahlenfigur. Die negative Staubfigur zeigt sich am schönsten bei Anwendung von *semen lycopodii* oder Mennig.

Lichtenberg, welcher der Entdecker dieser Staubfiguren ist, setzte, um dieselben zu erhalten, ein kleines Metallrohr auf die Harzplatte und liess auf dieses den elektrischen Funken schlagen. Fig. 168 stellt die auf diese Weise erhaltene positive Staubfigur dar.

Das Sichtbarwerden dieser Figuren rührt ohne Zweifel daher, dass das Pulver durch die Reibung an den Oeffnungen der Leinwand elektrisch wird und sich auf diejenigen Stellen der Harztafel aufsetzt, welche die entgegengesetzte Elektricität haben.

Fig. 168.



Man sah früher die Unterschiede der positiven und der negativen Staubfigur für einen charakteristischen Unterschied der beiden Elektricitäten an; dagegen aber spricht der Umstand, dass dieser Unterschied ganz verschwindet, wenn die Harzplatte sich während des Uebergangs der Elektricität unter dem ausgepumpten Recipienten der Luftpumpe befindet. In diesem Falle bilden sich nur kleine rundliche Flecken.

Riess (Lehre von der Reibungselektricität, 2. Bd. S. 212) erklärt die Bildung dieser Staubfiguren im Wesentlichen folgendermaassen: „Die vom Knopf der Leydener Flasche ausgehende Elektricität wird zunächst die auf der Oberfläche der Harzscheibe condensirte Atmosphäre von Luft und Wasserdampf zerreissen und über die Harzfläche hintreiben, welche, wie **Faraday** gezeigt hat, durch Reibung mit Wasserdampf negativ elektrisch wird. Ist nun die Flasche, von deren Knopf die Wirkung ausgeht, mit positiver Elektricität geladen, so wird sich dieselbe über die gleichsam negativ präparirte Fläche weithin dendritisch verbreiten können, während eine gleiche Ausbreitung der negativen Elektricität auf der negativen Oberfläche nicht möglich ist.

Auf denselben Erklärungsgrund lässt sich auch der auf S. 154 besprochene **Lullin**'sche Versuch zurückführen.

Elektrische Funken und Büschel. Wenn man einen mit 60
Elektricität geladenen Leiter einem anderen mit dem Boden in leitender Verbindung stehenden nähert, so wird letzterer, wie wir gesehen haben,

sich mit gebundener Elektricität laden, welche der des ersteren Leiters entgegengesetzt ist. Die Ladung des zweiten Leiters wächst, die Kraft, mit welcher die einander gegenüberstehenden entgegengesetzten Elektricitäten sich anziehen, nimmt zu, wenn man den zweiten Leiter dem ersten nähert, bis endlich die elektrische Spannung auf beiden Leitern gross genug wird, um die isolirende Luftschicht zu durchbrechen.

Wenn die Dichtigkeit der Elektricität auf den beiden einander gegenüberstehenden Leitern bedeutend war, und eine verhältnissmässig grosse Quantität Elektricität zwischen denselben übergeht, so ist dieser Uebergang von einer glänzenden Lichterscheinung, dem elektrischen Funken, und von einem mehr oder weniger lebhaften, scharfen Knall begleitet. Wir wollen hier nur die äusseren Verhältnisse des elektrischen Funkens näher betrachten, und eine Untersuchung über das Wesen desselben und über die Natur des elektrischen Lichts überhaupt in einem späteren Capitel besprechen.

Sehr hell glänzend ist der Entladungsfunke einer stark geladenen Leydener Flasche oder einer Batterie, weil hier bei nicht sehr grosser Schlagweite die Menge der übergehenden Elektricität eine sehr bedeutende ist; die Bahn dieses sehr intensiven Funkens ist geradlinig, seine Farbe weiss.

Der Funken, welchen man von dem Conductor der Elektrisirmaschine erhält, kann eine viel bedeutendere Schlagweite erreichen, dagegen ist seine Lichtstärke viel geringer, weil zwar die Spannung der auf dem Conductor angehäuften Elektricität eine sehr bedeutende, ihre Gesammtmenge aber doch verhältnissmässig gering ist.

Bei etwas bedeutenderer Schlagweite hört auch der Conductorfunken auf geradlinig zu sein, er nimmt eine unregelmässige, zackige oder ästige Gestalt an, wie Fig. 169 zeigt, welche den Funken der Van Marum'schen Maschine in $^1/_8$ der natürlichen Grösse darstellt; der Funke schlägt

Fig. 169.



hier von einer kleinen am Conductor befindlichen Kugel zu einer grösseren des Funkenziehers über.

Die Farbe des Funkens, welche der Conductor der Elektrisirmaschine liefert, hängt ab theils von der Natur des Metalls, aus denen die Kugeln gefertigt sind, zwischen denen der Funken überspringt, theils von der Natur des Gases, welches den Zwischenraum zwischen den Kugeln ausfüllt.

In Luft ist die Farbe des Conductorfunkens etwas bläulich, in Wasserstoff ist sie nach Faraday röthlich, in Kohlensäure grünlich u. s. w. Wir werden später noch einmal auf den Einfluss des Gases auf die Farben des Funkens zurückkommen.

Um die Funken zu vervielfältigen, muss man den Leiter, durch welchen die Elektricität vom Conductor in den Boden überströmt, oft unterbrechen; darauf beruhen mehrere Spielereien.

Mit Metallperlen, die auf einem Seidenfaden aufgereiht sind, jedoch so, dass jede Metallperle von der folgenden durch Glasperlchen getrennt ist, kann man Namenszüge und allerlei Figuren bilden, welche so lange leuchten, als man die Maschine dreht, von deren Conductor die Elektricität durch diese Kette in den Boden strömt.

Wenn man nach Grüel's Angabe eine Kette, deren Glieder aus nicht zu dickem Eisendraht verfertigt sind, als Theil des Schliessungsbogens bei der Entladung einer Leydener Flasche anwendet, so sprüht jeder einzelne Ring Fünkchen aus, welche die charakteristische Verbrennungserscheinung des Eisens zeigen.

Blitzröhren, Fig. 170, sind Glasröhren, auf welchen man rautenförmige Stanniolblättchen so aufgeklebt hat, dass zwischen zwei einander zugekehrten Spitzen ein kleiner Zwischenraum bleibt, wie Fig. 171 zeigt. Gewöhnlich klebt man sie so auf, dass sie eine um die Röhre laufende Schraubenlinie bilden. Wenn man das eine Ende einer solchen Röhre in der Hand haltend, das andere an den Conductor der Maschine bringt, während sie gedreht wird, so sieht man im Dunkeln fortwährend zwischen je zwei Rauten Funken überspringen, so dass eine fast zusammenhängende Lichtlinie auf der Röhre erscheint.

Fig. 170.



Fig. 171.



Eine Blitztafel ist Fig. 172 (a. f. S.) dargestellt. Eine Glasplatte ist auf beiden Seiten mit Stanniol belegt, ganz wie wir es bei der Franklin'schen Tafel gesehen haben; die vordere Belegung, auf deren Mitte eine Messingplatte mit einem Häkchen aufgekittet sein muss, ist durch zwei Reihen sich kreuzender Schnitte von ungefähr $^1/_2$ Millimeter Breite in einzelne rautenförmige Stückchen getheilt. Wird nun die hintere Fläche zum Boden abgeleitet, der Haken an der vorderen aber mit dem Conductor der Elektrisirmaschine in Verbindung gebracht, so kann eine Ladung des Apparates nur dadurch zu Stande kommen, dass die Elektricität auf der Vorderfläche von einer Raute zur anderen überspringt, was zur Folge hat, dass von der Mitte aus Blitze die ganze Tafel nach allen Seiten hin durchzucken. Besonders

glanzvoll zeigt sich die Erscheinung bei einer raschen Entladung der Tafel.

Da die Franklin'sche Tafel bei etwas grösseren Dimensionen zerbrechlich wird, wenn sie auf die oben S. 140 besprochene Weise aufgestellt ist, so kann man sie in eine staffeleiartige Fassung bringen, wie Fig. 172 zeigt.

Man hat diese Spielereien noch auf mannigfache Weise abgeändert, diese Beispiele mögen jedoch genügen.

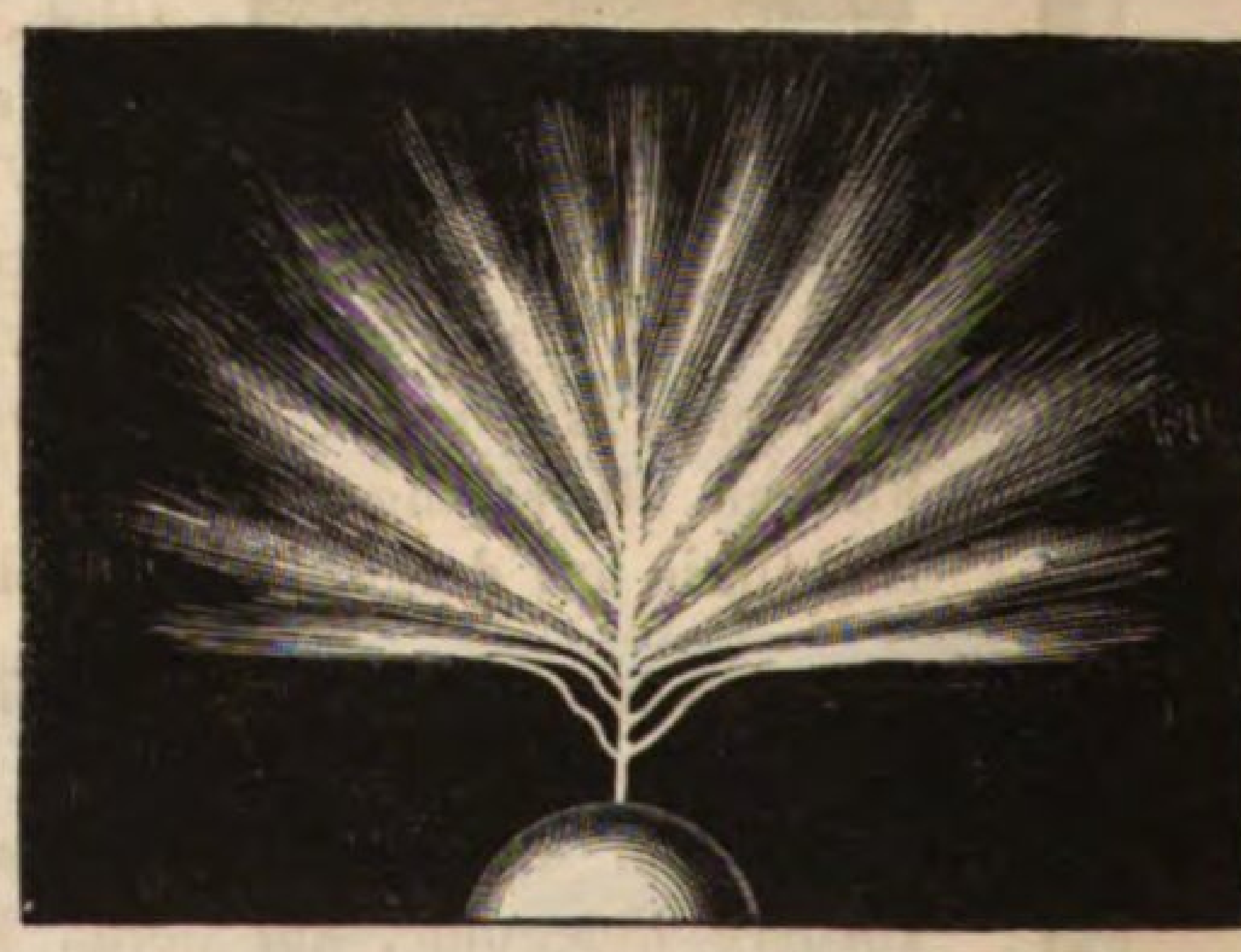
Wenn man den Conductor der Elektrisirmaschine mit einer kleinen Kugel von 3 bis 6 Linien Durchmesser versieht und derselben eine zum Boden abgeleitete Metallfläche oder die Hand nähert, so erhält man stark verästelte Funken, die bei grösserer Annäherung in gewöhnliche Funken übergehen. Wenn die Maschine recht kräftig wirkt, so gehen diese verästelten Funken mehr und mehr in einen förmlichen, nur im Dunkeln bemerkbaren Büschel über, der aber noch deutlich aus einzelnen, mit Geräusch überschlagenden verästelten Funken besteht. Das Ausströmen der Elektricität wird um so gleichförmiger, je stärker die Maschine wirkt oder je kleiner die Kugel ist. Hat die Kugel eine der Kraft der Maschine entsprechende Grösse, so ist die Anhäufung der Elektricität in derselben so stark, dass büschelförmige Ausströmungen selbst gegen Halbleiter, wie Holz u. s. w., ja gegen die Luft allein stattfinden.

Fig. 172.



$\frac{1}{8}$ $\frac{1}{10}$

Fig. 173.



Van Marum's berühmte Maschine ist so kräftig, dass sie aus einer Kugel von $3^1/_2$ Zoll Durchmesser einen Lichtbüschel von der Fig. 173 in $^1/_{10}$ der natürlichen Grösse abgebildeten Form liefert. Bei schwachen Maschinen erhält man die durch freie Ausstrahlung entstehenden Büschel am besten, wenn man auf den Conductor einen am Ende abgerundeten Messingstab von 1 bis 2 Linien Durchmesser aufsetzt.

Je dünner das Ende des Metallstabes gemacht wird, welcher den Büschel geben soll, desto continuirlicher wird die Entladung, d. h. desto weniger sind einzelne Verzweigungen im Büschel zu unterscheiden, und

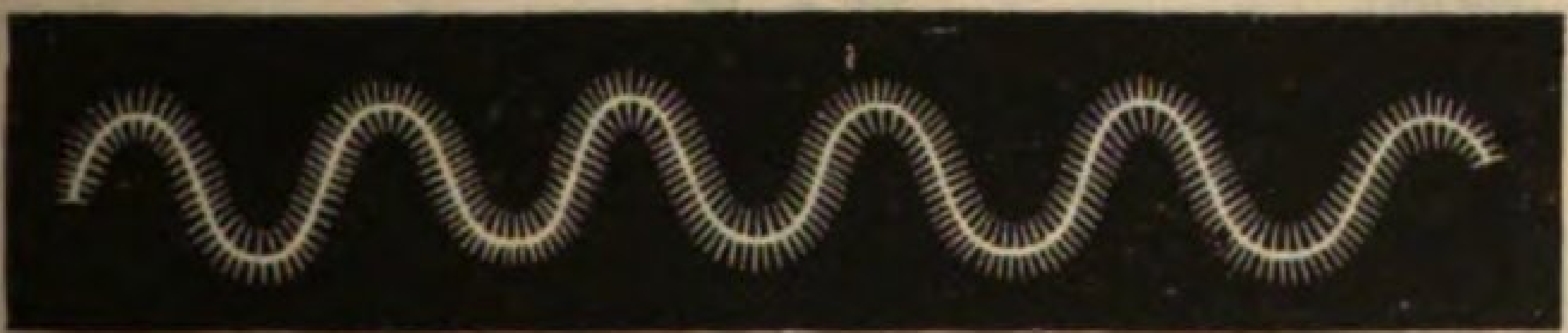
desto kleiner wird der Büschel, der endlich in einen kleinen leuchtenden Punkt übergeht, wenn der Draht in eine Spitze ausläuft. Bei stärkeren Maschinen bobachtet man selbst am Ende etwas dickerer Stäbe ein gleichförmiges ruhiges Glimmen.

Für positive Elektricität sind die Büschel am grössten; ist der Conductor mit negativer Elektricität geladen, so sind die Büschel kleiner und gehen viel eher in einen kleinen leuchtenden Stern und in ruhiges Glimmen über.

Die Büschel erhält man nicht bloss, wenn man auf den Conductor der Elektrisirmaschine eine kleine Kugel oder einen abgerundeten Metallstab aufsetzt, sondern auch wenn man eine kleine Kugel oder einen solchen Stab ableitend berührt und gegen den Conductor der Maschine hält; es strömt alsdann die durch Vertheilung im Stabende angehäufte Elektricität in Büschelform gegen den Conductor aus. Hält man eine Spitze dem Conductor entgegen, so erscheint an derselben der kleine leuchtende Stern.

Wenn man an den Funkenzieher einer kräftigen Elektrisirmaschine einen ganz dünnen Metalldraht hängt, welcher fast bis auf den Boden herabhängt, so wird dieser Draht im Dunkeln leuchtend, so oft ein Funken vom Conductor auf den Funkenzieher überspringt. Es schiessen dabei aus dem Drahte nach allen Seiten hin kurze Strahlen hervor; Van Marum hat mit seiner trefflichen Maschine diese Erscheinung entdeckt und in grossem Maassstabe dargestellt. Fig. 174 stellt ein Stück von Van Marum's leuchtendem Drahte in verkleinertem Maassstabe dar. — Mit

Fig. 174.



schwachen Maschinen lässt sich das Leuchten des Drahtes nicht hervorbringen, wenn sich derselbe nicht in einem luftverdünnten Raume befindet.

Das elektrische Licht im luftverdünnten Raume. Im luftverdünnten Raume schlägt der elektrische Funken auf grosse Entfernungen über und breitet sich in prachtvolle Lichtgarben von blassvioletter Farbe aus; im luftverdünnten Raume werden die elektrischen Lichtbüschel viel grösser und schöner. Das Leuchten eines dünnen Drahtes lässt sich im luftleeren Raume schon mit schwächeren Maschinen hervorbringen. 61

Fig. 175 (a.f.S.) stellt einen unter dem Namen des elektrischen Eies bekannten Apparat dar, wie er häufig angewandt wird, um das elektrische Licht im verdünnten Raume zu zeigen. An beiden Enden eines elliptischen Glasgefässes sind Metallfassungen aufgekittet; die Fassung auf der einen Seite ist mit einem Hahn versehen und kann auf eine Luftpumpe

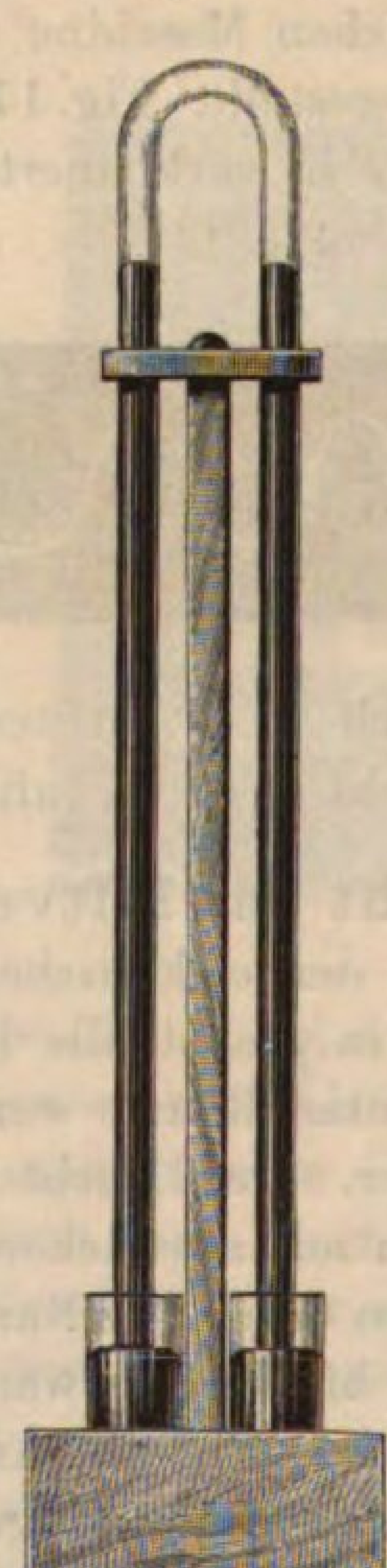
aufgeschraubt werden. Die Fassung der anderen Seite ist mit einer Lederbüchse versehen, durch welche der mit dem Knopf *b* endigende Messingstab *cb* hindurchgeht, so dass man den Knopf *b* nach Belieben dem Knopfe *a* nähern kann. Wenn man den Apparat möglichst luftleer gemacht und die untere Fassung mit dem Boden in leitende Verbindung gebracht hat, so strömt die Elektricität in Form breiter Lichtbänder zwischen *b* und *a* über, so oft ein Funken vom Conductor der Maschine auf *c* überschlägt. Wenn man durch den Hahn etwas Luft einströmen lässt, so wird das Licht weniger diffus und bildet purpurfarbene Lichtbogen zwischen *b* und *a*. Je mehr Luft man einlässt, desto mehr nimmt die Ausdehnung der Lichterscheinung ab, sie nähert sich mehr und mehr der Form des gewöhnlichen elektrischen Funkens.

Sehr gut lassen sich auch die elektrischen Lichterscheinungen im verdünnten Raume einer Luftpumpenglocke darstellen, welche oben eine Messingfassung mit einer Stopfbüchse hat, durch welche ein Messingstab hindurchgeht, den man auf- und niederziehen kann, und an dessen unterem Ende eine Kugel oder irgend ein anders geformtes Metallstück angeschraubt ist.

Fig. 175.



Fig. 176.



Auch die Toricelli'sche Leere durchströmt die Elektricität mit Lichterscheinung.

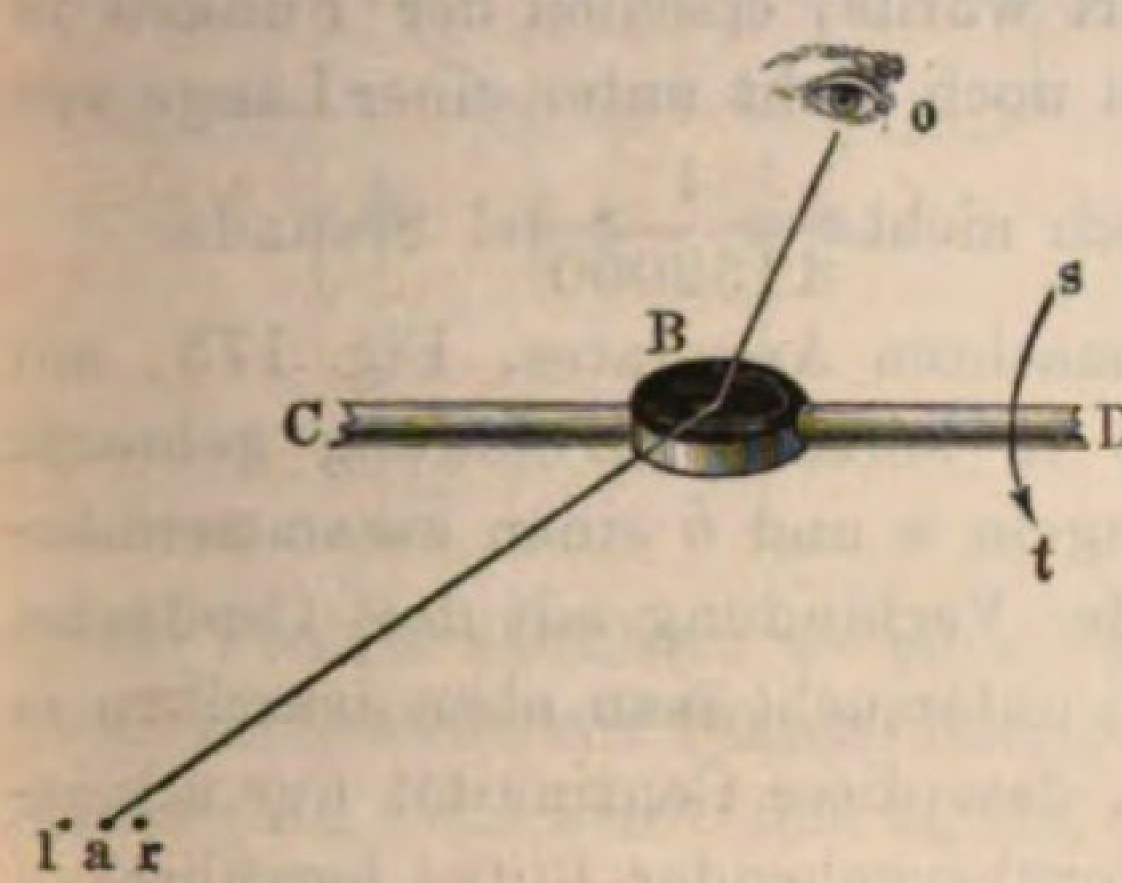
Picard bemerkte zuerst, dass ein Barometer im Dunkeln leuchtet, wenn das Quecksilber auf und nieder schwankt, und bald überzeugte man sich, dass diese Erscheinung von der durch die Reibung des Quecksilbers an den Wänden der Röhre entwickelten Elektricität herrühre. Um das elektrische Licht in der Toricelli'schen Leere zu beobachten, construirte Cavendish das Fig. 176 dargestellte Doppelbarometer, dessen Anwendung wohl ohne weitere Erklärung verständlich ist.

Die Dauer des elektrischen Funkens. Wenn ein vom Tages- oder Lampenlicht beschienenes Rad rasch umgedreht wird, so kann man die einzelnen Speichen nicht mehr unterscheiden; wenn aber ein rasch rotirendes Rad in einem dunkeln Zimmer plötzlich durch einen elektrischen Funken erleuchtet wird, so unterscheidet man die einzelnen Speichen so deutlich, als ob das Rad in Ruhe wäre. 62

Daraus folgt, dass die Dauer des elektrischen Funkens eine sehr kurze ist; um diese Dauer zu ermitteln, hat Wheatstone eine Reihe von Versuchen angestellt.

Es sei *a*, Fig. 177, ein leuchtender Punkt, etwa eine entfernt stehende Kerze, *B* sei ein ebener Metallspiegel, welcher um eine horizontale Axe *CD* drehbar ist, *o* endlich sei das Auge des Beobachters. Wenn der Spiegel ruhig steht, sieht das Auge *o* das Bild des Punktes *a* im Spiegel *B* an einer bestimmten Stelle, die sich aber ändert, wenn der Spiegel gedreht wird; ist die Drehung rasch genug, so erscheint statt des Kerzenbildes ein Lichtstreif, indem der Lichteindruck von allen den Stellen, welche das Kerzenbild nach und nach durchläuft, noch eine Zeit lang im Auge nachwirkt, und man so den Lichteindruck von den früheren Stellungen des Bildes noch wahrnimmt, während es schon an einer anderen Stelle angekommen ist.

Fig. 177.



Wenn man nun dafür sorgt, dass an der Stelle der Kerze ein elektrischer Funken überspringt, so wird bei rascher Rotation des Spiegels das Bild des Funkens ebenfalls in die Länge gezogen erscheinen, wenn der elektrische Funken nur eine ganz geringe Dauer hat.

Der Spiegel war an einem rotirenden Apparat so befestigt, dass er 50 Umdrehungen in einer Secunde machte; um einen Bogen von 1^0 zu durchlaufen, brauchte also der Spiegel $\frac{1}{50.360}$tel, und also, um einen Winkel von $\frac{1}{2}^0$ zu durchlaufen, $\frac{1}{36000}$tel Secunde. Nun aber ist den Lehren der Optik zufolge die Winkelgeschwindigkeit des Bildes doppelt so gross als die des Spiegels (Bd. I, S. 512), folglich legt das Bild in $\frac{1}{72000}$tel Secunde einen Bogen von $\frac{1}{2}$ Grad zurück; wenn also die Dauer des elektrischen Funkens auch nur $\frac{1}{72000}$tel Secunde betrüge, so müsste schon sein Bild im rotirenden Spiegel als $\frac{1}{2}^0$ langer Streifen erscheinen.

Nacheinander bot nun Wheatstone in einer Entfernung von 10 Fuss dem Spiegel 4 Zoll lange Funken einer Elektrisirmaschine dar, ferner

Entladungsfunken einer Leydener Flasche, ein 4 Fuss langes Glasrohr, worin der elektrische Funken längs einer schraubenförmigen Reihe von Scheibchen aus Zinnfolie überspringen musste, ein luftleeres Glasrohr von 6′ Länge, in welchem der Funken beim Durchgang eine ununterbrochene Linie von geschwächtem elektrischen Lichte erzeugte u. s. w. Allein in allen diesen Fällen erschienen die reflectirten Bilder, wenn sie innerhalb des Gesichtsfeldes auftraten, vollkommen ungeändert und genau auf eben die Weise, als ob sie von dem ruhenden Spiegel reflectirt worden wären.

Die Dauer eines solchen elektrischen Funkens betrüge demnach weniger als $\frac{1}{72000}$tel Secunde.

Als aber die Geschwindigkeit des rotirenden Spiegels bis auf 800 Umdrehungen in der Secunde gesteigert wurde, erschien der Funken in der That verlängert, er erschien jedoch noch nicht unter einer Länge von $^1/_2$ Grad, seine Dauer betrug also noch nicht $\frac{1}{1152000}$tel Secunde.

Wenn der Ring c des luftleer gemachten Apparates, Fig. 175, mit dem Conductor der Elektrisirmaschine in leitende Verbindung gebracht wird, so erblickt man zwischen den Kugeln a und b einen zusammenhängenden Lichtstrom, wenn c in leitender Verbindung mit dem Conductor der gedrehten Elektrisirmaschine steht; untersucht man aber denselben in dem rotirenden Spiegel, so findet man, dass diese Continuität nur scheinbar ist und von einer raschen Folge vorübergehender Blitze herrührt.

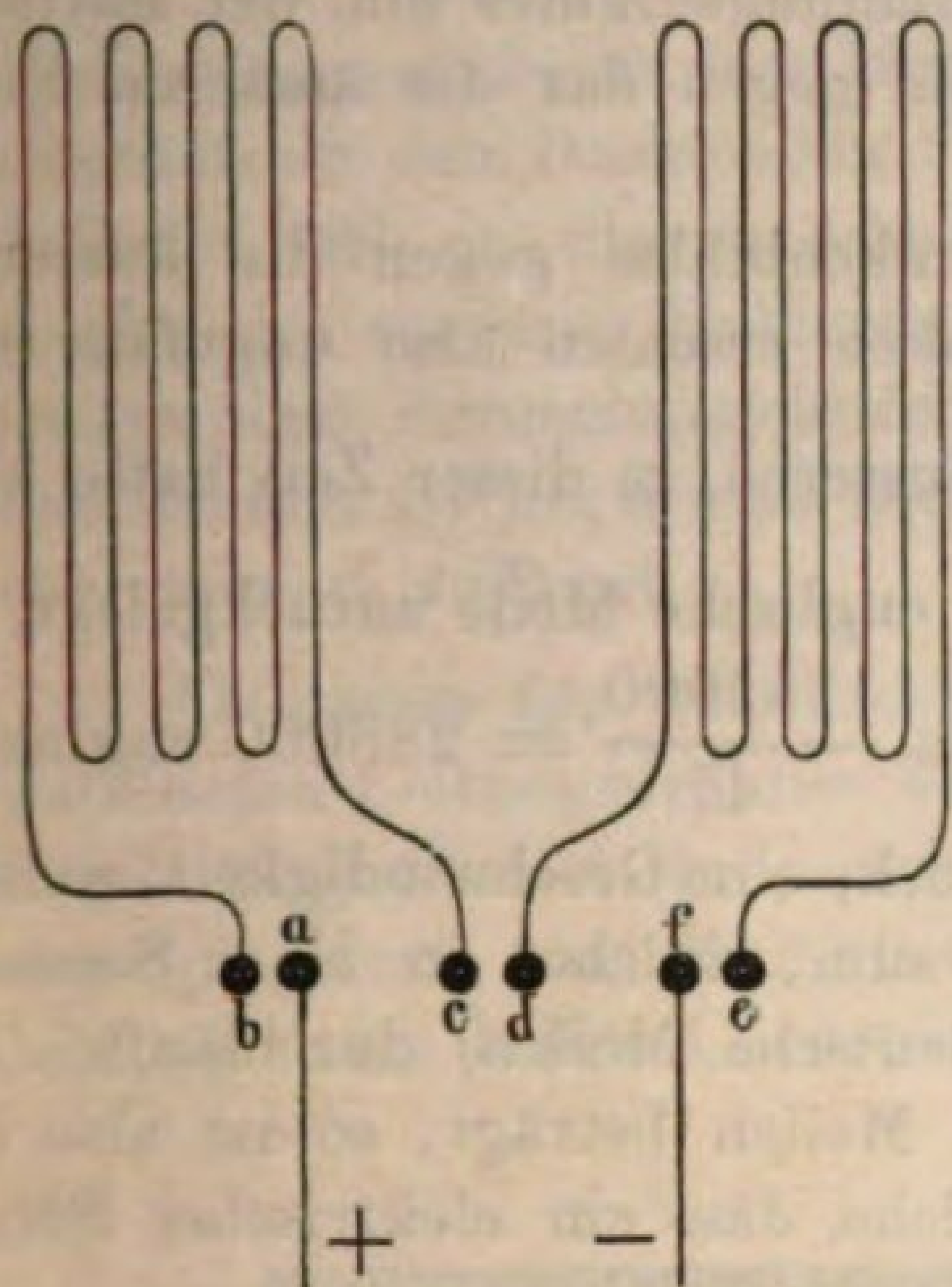
Mit Hülfe der Leydener Flasche hat man die Geschwindigkeit zu bestimmen gesucht, mit welcher sich das elektrische Fluidum durch die Leiter verbreitet. Nach Versuchen, welche in England und Frankreich in den Jahren 1745 bis 1750 angestellt wurden, werden isolirte, eine halbe Meile lange Metalldrähte von dem Entladungsschlag momentan durchlaufen. In dieser Zeit stellte man auch Versuche über die Fortpflanzung der Elektricität im Wasser und in feuchtem Boden an. Von einem gegebenen Punkte ausgehend, wurde ein mehrere hundert Toisen langer Metalldraht, durch Pflöcke von trockenem Holze isolirt, über ein Terrain von sehr abwechselnder Natur und über Flüsse hinweggeleitet und das entfernte Ende in den Boden gesteckt. Am Ausgangspunkte wurde eine geladene Flasche auf den Boden gestellt und mit dem einen Ende des Drahtes der Knopf berührt. Der elektrische Schlag ging durch die ganze Länge des Drahtes hindurch, ging dann in den Boden über, um in demselben zur äusseren Belegung der Flasche zurückzukehren.

Der Länge des Weges und der mannigfachen Hindernisse ungeachtet, erfolgte die Entladung der Flasche ebenso momentan, als ob man einen gewöhnlichen Auslader angewendet hätte.

Genauere Bestimmungen über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität in sehr langen Leitern hat erst Wheatstone angestellt; er wandte dazu gleichfalls den rotirenden Spiegel an. Im Uebrigen war seine Vorrichtung im Wesentlichen die folgende.

Auf einem $3^1/_2$ Zoll im Durchmesser haltenden Brett, dem Funkenbrett, waren sechs Kugeln, *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f* (Fig. 178) gehörig isolirt befestigt. An der Kugel *a* war ein Draht befestigt, welcher mit der inneren Belegung einer Leydener Flasche in Verbindung gebracht werden konnte; die Kugel *b* war von *a* um 0,1 Zoll entfernt, von *b* aber führte ein Draht in vielen Windungen nach der Kugel *c*. Die Kugel *d* war nun ebenfalls 0,1 Zoll von *c* entfernt, und von *d* führte ein gleichfalls vielfach gewundener Draht zur Kugel *e*, welcher in einer Entfernung von 0,1 Zoll der Kugel *f* gegenüberstand. Von *f* führte endlich ein Draht zur äusseren Belegung der Flasche. Wenn nun der letzterwähnte Draht wirklich die äussere Belegung der geladenen Flasche berührt, so muss, wenn man das freie Ende des an *a* befestigten Drahtes der Flaschenkugel nähert, ein Funken zwischen *a* und *b*, ein zweiter zwischen *c* und *d*, ein dritter zwischen *e* und *f* überspringen.

Fig. 178.



Es fragt sich nun, ob diese drei Funken vollkommen gleichzeitig sind, auch wenn die Länge der Drahtwindungen sehr bedeutend ist? Bei den von Wheatstone angestellten Versuchen betrug die Länge der Drahtwindungen zwischen *b* und *c* $^1/_4$ englische Meile. Ebenso gross war die Länge des Drahtes zwischen *d* und *e*, so dass der Weg, welchen der elektrische Strom von der inneren zu der äusseren Belegung zu durchlaufen hatte, $^1/_2$ englische Meile betrug.

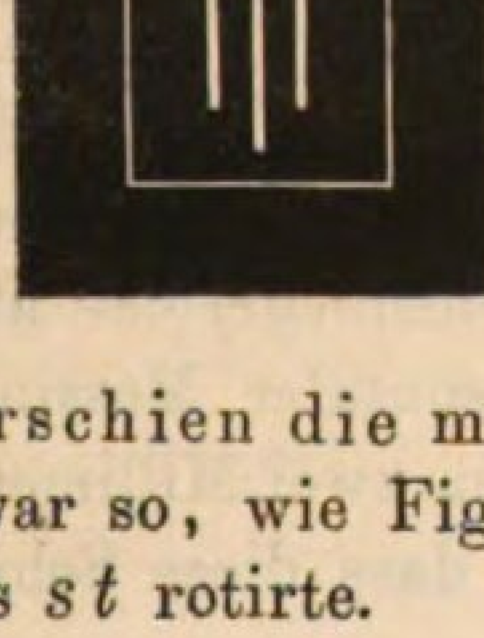
Die sechs Kugeln des Funkenbrettes lagen in einer horizontalen Linie.

Zehn Fuss vom Funkenbrett entfernt, in gleicher Höhe mit demselben war nun der Apparat mit dem rotirenden Spiegel *B*, Fig. 177, angebracht. Wäre der Spiegel ruhig stehen geblieben, so würde das Auge *o* die Bilder der drei Funken, welche in *l*, *a* und *r* entstehen, so gesehen haben, wie Fig. 179 zeigt, nämlich als drei in einer Horizontallinie liegende leuchtende Punkte. Als die Rotation des Spiegels so gross war, dass er 800 Umdrehungen in der Secunde machte, erschienen alle drei Lichtpunkte in die Länge gezogen, und ausserdem erschien die mittlere noch gegen die äusseren verrückt, und zwar so, wie Fig. 180 zeigt, wenn der Spiegel in der Richtung des Pfeiles *s t* rotirte.

Fig. 179.



Fig. 180.

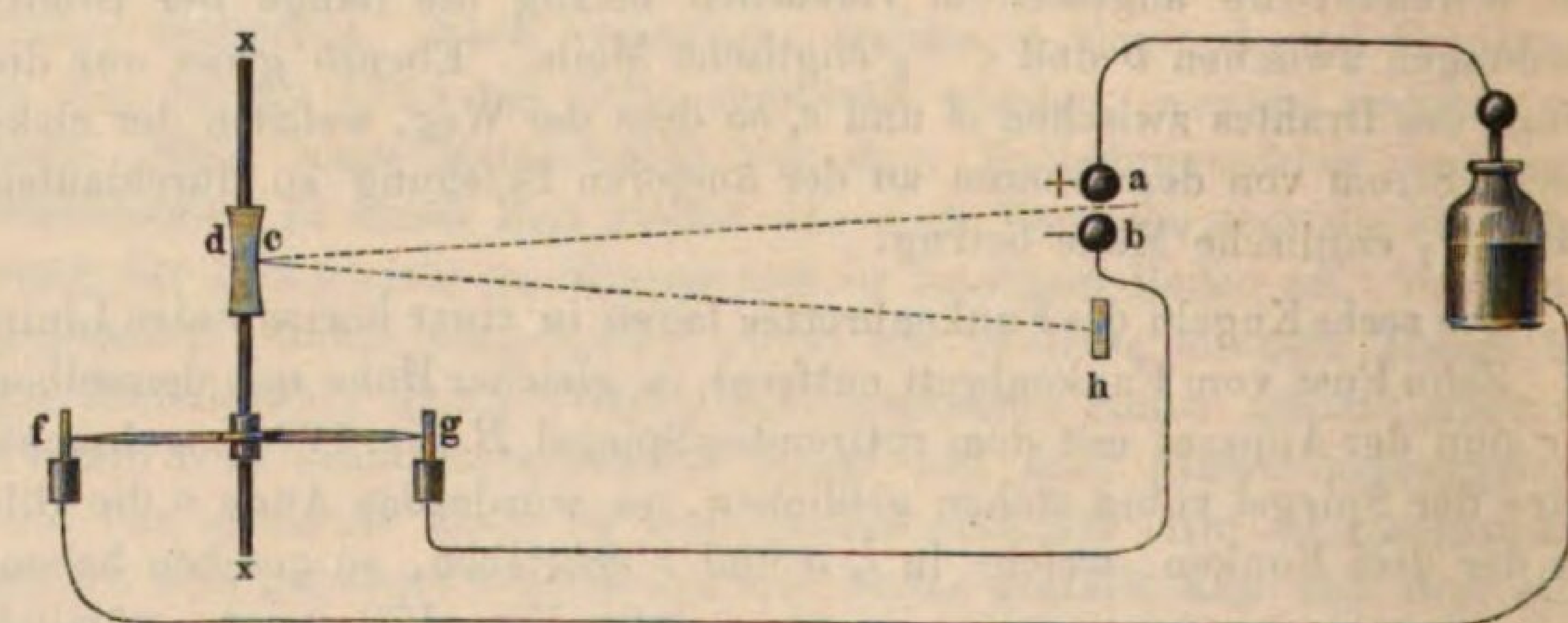


Da die beiden äusseren Funken im Spiegelbilde ihre gegenseitige Lage behalten, so erscheinen also die beiden äusseren Funken vollkommen gleichzeitig, der elektrische Strom beginnt also gleichzeitig von den beiden Belegungen gegen die Mitte des Entladungsdrahtes hin, der mittlere Funken erscheint aber später, da sein Bild gegen das der äusseren Funken verrückt erscheint.

Die Verschiebung des mittleren Funkenbildes gegen die äusseren betrug ungefähr $^1/_2{}^0$, der mittlere Funken erschien also ungefähr um $\frac{1}{1152000}$ Secunde später als die beiden äusseren, in dieser Zeit hatte also der elektrische Strom einen Weg von $^1/_4$ englische Meile zurückgelegt, in einer Secunde legt er also einen Weg von $\frac{1152000}{4} = 288000$ englische Meilen (oder 60000 deutsche Meilen) zurück, eine Geschwindigkeit, welche grösser ist als die des Lichtes im Weltraum, welches in einer Secunde nur 194000 englische Meilen (42000 deutsche Meilen) durchläuft. Da der Erdumfang ungefähr 5400 deutsche Meilen beträgt, so ist also die Geschwindigkeit der Elektricität eine solche, dass ein elektrischer Strom die Erde in einer Secunde 10mal umkreisen würde.

Die Untersuchung des Entladungsfunkens der Batterie mittelst rotirender Spiegel hat Feddersen sehr vervollkommnet (Pogg. Annal. Bd. CXIII u. CXVI). Die Anordnung seiner Versuche ist in Fig. 181 schematisch dargestellt. Der Entladungsfunke der Batterie schlägt zwi-

Fig. 181.



schen den Kugeln a und b über, welche gehörig isolirt in einem Kästchen enthalten sind, welches nur gegen den rotirenden Spiegel hin eine Oeffnung hat. Auf der durch ein Uhrwerk in sehr gleichmässige Rotation versetzten verticalen Axe xx sind zwei Hohlspiegel c und d so befestigt, dass die Axen derselben in eine gerade Linie zusammenfallen. Der Krümmungshalbmesser dieser Hohlspiegel ist ungefähr 0,5 Meter. An der Umdrehungsaxe ist ein horizontaler Messingstab befestigt, welcher auf beiden Seiten mit horizontalen, zwei Millimeter breiten Schneiden endigt, und welcher so gestellt ist, dass diese Schneiden gerade in demsel-

ben Moment an den isolirten Drahtenden *f* und *g* vorbeistreifen, in welchen die Funkenstelle bei *ab* in der Verticalebene der Spiegelaxe liegt. Das Drahtende *g* ist mit der Kugel *b* leitend verbunden, das Drahtende *f* mit der äusseren Belegung der Leydener Flasche, es findet also eine Entladung gerade in dem Momente statt, in welchem der rotirende Messingstab an den Drahtenden *f* und *g* vorbeistreift. Die Funkenstelle *ab* befindet sich in diesem Augenblick etwas über dem Krümmungsmittelpunkt des vorderen Hohlspiegels, es muss also das Bild desselben etwas unter dem Krümmungsmittelpunkte entstehen, und um dieses Bild zu beobachten, ist bei *h* eine mattgeschliffene Glasplatte angebracht, auf welcher man es auffängt.

Als ausser den unentbehrlichen, aus hinlänglich dickem Kupferdraht gebildeten Leitungsdrähten kein weiterer Widerstand in den Schliessungsbogen eingeschaltet war, erschien bei passender Rotationsgeschwindigkeit der Spiegelaxe (ungefähr 50 Umdrehungen in der Secunde) das Funkenbild zu einem hellen Lichtstreif, Fig. 182, verlängert, welcher mit einem

Fig. 182.



blendenden Gelbweiss beginnt, alsbald in Grünlichweiss übergeht und meist mit einem rothen Lichtschweif endigt.

Wahrscheinlich ist nur der weissliche lichtstarke Theil des Funkenbandes unmittelbar von dem Funken erzeugt, während der sehr veränderliche kupferrothe Schweif allein von losgerissenen, noch nicht vollständig abgekühlten Metalltheilchen herrührt.

Von der Annahme ausgehend, dass nur der helle Theil des Bildes von Funken selbst herrührt, kann man die Dauer des Funkens aus der Länge des Funkenbandes berechnen. Für eine Flasche von 2,2 □′ Oberfläche, bei $4^1/_2$ Mm. Schlagweite und 52 Umdrehungen in der Secunde betrug die Länge des lichtstarken Funkenbandes im Mittel $27^1/_2$ Mm., woraus sich eine Funkendauer von 0,00009 Secunden ergiebt, eine Funkendauer, welche 100mal grösser ist als die von Wheatstone bestimmte.

Die Dauer der Entladung wird vergrössert:

1. durch die Vergrösserung der Schlagweite,
2. durch die Vergrösserung der Oberfläche der Batterie, wie dies aus folgender Tabelle hervorgeht.

Zahl der Flaschen.	Schlagweite.	Dauer des weisslichen Lichtes.
1	$1\frac{1}{2}$ mm	0,00004″
	$3\frac{3}{4}$	0,00008
	$6\frac{3}{4}$	0,00010
	10	0,00013
4	$1\frac{1}{2}$	0,0006
	$3\frac{3}{4}$	0,0015

Wenn der Leitungswiderstand des Schliessungsbogens ohne merkliche Verlängerung durch Einschaltung kurzer Stücke schlechtleitender Substanzen, z. B. von Glasröhren, die mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt sind, vermehrt wird, so nimmt die Länge des Funkenbandes, also auch die Entladungsdauer ab.

Wenn dagegen der Leitungswiderstand des Schliessungsbogens durch Einschaltung langer Stücke gut leitender Substanzen vermehrt wird, so nimmt die Länge des Funkenbandes zu.

Als z. B. ein 1300 Meter langer Kupferdraht eingeschaltet wurde, erschien das Funkenbild auf das 3- bis 4fache verlängert, während es bedeutend verkürzt erschien, als statt jenes Kupferdrahtes eine Röhre mit Schwefelsäure eingeschaltet wurde, deren Leitungswiderstand dem des 1300 Meter langen Kupferdrahtes gleich war.

Das durch Verlängerung des Schliessungsbogens verlängerte Funkenband erscheint nun aber auch nicht mehr als ein zusammenhängender Lichtstreif, sondern es erscheint in abwechselnd hellen und dunklen Streifen, also gleichsam in eine Reihe auf einander folgender, durch dunkle Zwischenräume getrennter Funkenbilder zerlegt.

Um diese Unterbrechungen des Funkenbandes besser studiren zu können, photographirte Feddersen dasselbe, indem er eine photographisch präparirte Platte an die Stelle der matten Glastafel *h*, Fig. 181, setzte.

Fig. 183.

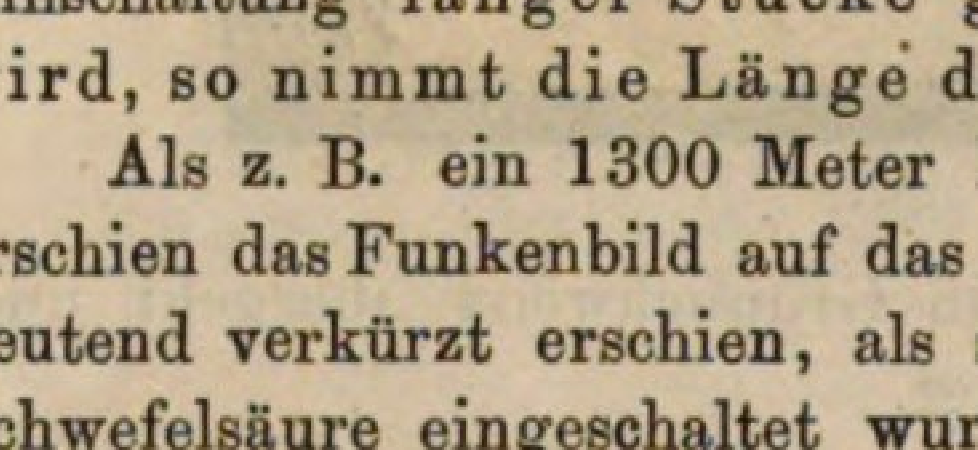
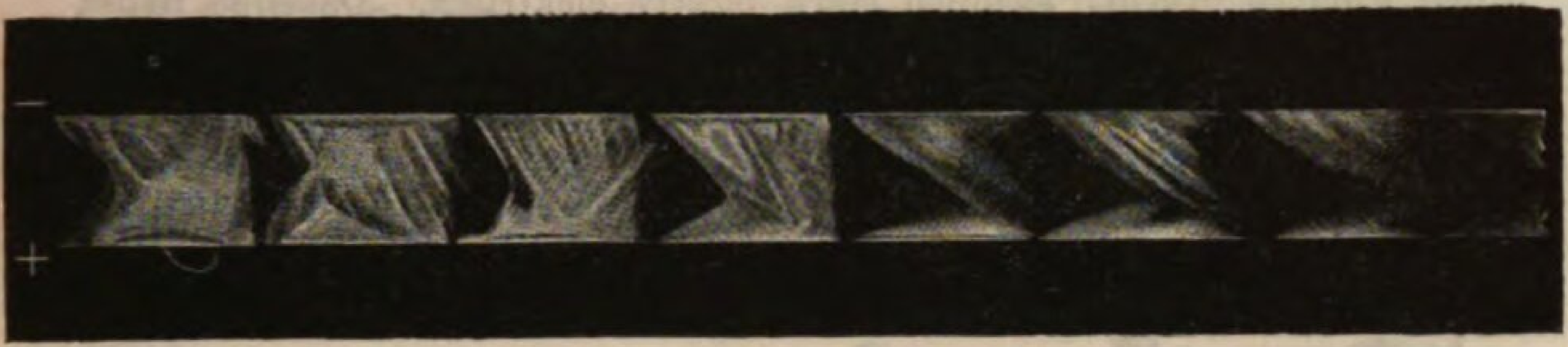


Fig. 183 und 184 stellen zwei solcher photographirter Funkenbilder dar.

Der Funken, welcher zwischen Kupferkugeln bei gutleitendem kürzeren Schliessungsbogen überschlug, lieferte bei 87 Spiegelrotationen in der Secunde das Funkenbild Fig. 183, während Fig. 184 das Bild eines Funkens ist, welcher bei längerem gutleitendem Schliessungsbogen zwischen Zinnkugeln überschlug.

Bei Fig. 183 zeigt sich die Unterbrechung des Lichtbandes nur an den Rändern, hier aber ist ein regelmässiges Alterniren der Licht-

Fig. 184.



intensität wahrnehmbar. Dieses Alterniren deutet nach Feddersen auf ein Hin- und Herströmen der Elektricität, für welches auch beim Fehlen des Alternirens die stets gleiche Breite der einzelnen Lichtstreifen, wie in Fig. 184, spricht.

Die Richtigkeit dieser Ansicht wird auch durch Paalzows Versuche über die Entladung der Leydener Flasche durch Geissler'sche Röhren bestätigt, die wir erst später besprechen können.

Der elektrische Geruch. Wenn aus irgend einer Hervorragung 63
am Conductor der Elektrisirmaschine die Elektricität ausströmt, so bemerkt man einen eigenthümlichen Geruch, den man den elektrischen Geruch nennt. Dieser Geruch rührt von einem eigenthümlichen Gase, dem Ozon, her, welches sich unter dem Einfluss der Elektricität bildet, und welches in seinem Verhalten viele Aehnlichkeit mit Chlor hat; es zersetzt z. B. wie das Chlor das Jodkalium; hält man gegen eine am Conductor der Maschine befindliche Spitze, welche einen Büschel und mit ihm den elektrischen Geruch giebt, ein Stück Papier, welches mit Jodkaliumkleister (Stärkekleister mit etwas Jodkalium) bestrichen ist, so wird der Kleister blau gefärbt, indem unter dem Einfluss des Ozons das Jodkalium zersetzt wird und das frei werdende Jod die Stärke blau färbt.

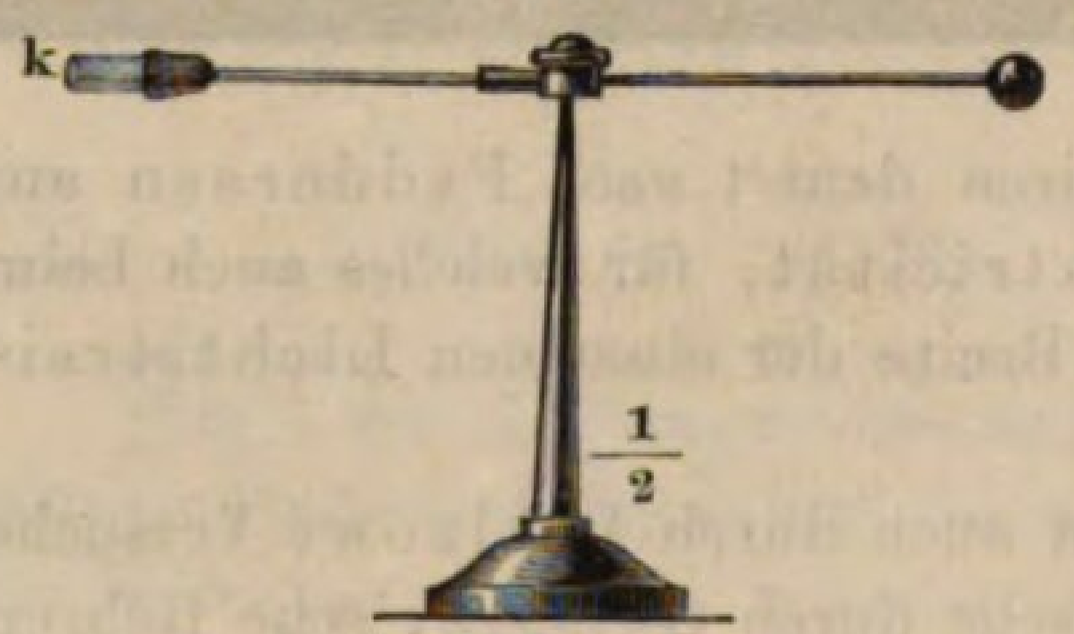
Auch ohne alle Elektricität, auf rein chemischem Wege lässt sich das Ozon erzeugen. Bringt man ein Stückchen Phosphor in ein Arzneiglas, in welchem sich so viel Wasser befindet, dass das Phosphorstück zur Hälfte herausragt, so zeigt die in der Flasche befindliche Luft nach einiger Zeit einen höchst intensiven Ozongeruch; hängt man einen Papierstreifen mit Jodkaliumkleister in die Flasche, so wird der Kleister blau.

Wahrscheinlich ist dieses Gas, welches von Schönbein zuerst näher untersucht und mit dem Namen Ozon bezeichnet wurde, eine eigenthümliche Modification des Sauerstoffs, die man als activen Sauerstoff bezeichnet.

Elektricitätsentwickelung durch Druck. Wenn man eine 64
Metallplatte auf ein Stück Wachstaffet setzt, und sie an einem isolirenden Handgriff aufhebt, nachdem man etwas gedrückt hat, so findet man, dass die Metallplatte negativ, der Taffet positiv elektrisch geworden ist. Die-

ser Versuch rührt von Libes her. Haüy hat gezeigt, dass auch viele Mineralien mit glatten und polirten Oberflächen durch Druck elektrisch werden. Ein Stück Kalkspath z. B. wird, wenn man es etwas zwischen den Fingern drückt, ziemlich stark positiv elektrisch. Dasselbe findet auch beim Topas, dem Flussspath, dem Glimmer, dem Arragonit, dem Quarz und mehreren anderen Substanzen statt, jederzeit hängt aber die entwickelte Elektricität von der Natur des drückenden Körpers ab. Haüy hat auch gefunden, dass die durch Druck elektrisch gewordenen Mineralien mehrere Stunden, ja selbst mehrere Tage lang elektrisch bleiben. In dieser Hinsicht ist der Kalkspath ganz besonders merkwürdig, indem er selbst noch nach 11 Tagen entschiedene Zeichen von Elektricität giebt. Auf dieser Eigenschaft des Kalkspaths beruht die von Haüy construirte elektrische Nadel, welche Fig. 185 abgebildet ist. An einem auf einer Stahlspitze spielenden Achathütchen ist auf der einen Seite ein feines Glasstäbchen eingekittet, an dessen Ende das Kalkspathstückchen *k* mit Wachs befestigt wird; zur Aequilibrirung desselben dient auf der anderen Seite ein mit einer Messingkugel endigendes Messingstäbchen.

Fig. 185.



65 **Elektricitätserregung durch Wärme.** Der Turmalin hat die Eigenschaft, leichte Körper anzuziehen und abzustossen, wenn er erwärmt wird; in Indien, wo dies Mineral sehr verbreitet ist, kannte man diese Eigenschaft schon vor Jahrhunderten. Eine so auffallende Erscheinung konnte der Aufmerksamkeit der Reisenden nicht entgehen; die Holländer machten diese merkwürdigen elektrischen Eigenschaften des Turmalins in Europa bekannt, wo sie bald von den Physikern näher untersucht wurden. Ganz besonders beschäftigten sich Canton, Priestley, Bergmann, Aepinus und Haüy damit. Folgende sind die wichtigsten Resultate ihrer Untersuchungen.

1. Ein durch Erwärmen elektrisch gemachter Turmalinkrystall zeigt an den beiden Enden seiner krystallographischen Hauptaxe zwei entgegengesetzte Pole, d. h. an einem Ende ist er positiv, am anderen negativ elektrisch. Die elektrischen Flüssigkeiten sind also in dem Turmalin ungefähr auf die Weise vertheilt, wie die magnetischen Fluida in einem Stahlstab.

2. Wenn man einen Turmalin, während er elektrisch ist, quer durchbricht, so hat jedes Stück wieder seine beiden Pole.

3. Für jeden Turmalin giebt es zwei Temperaturgränzen, zwischen welchen die elektrischen Erscheinungen stattfinden. Unterhalb und oberhalb dieser Gränze verhält sich der Turmalin wie jeder andere Körper, er zeigt keine elektrische Polarität. Diese Temperaturgränzen sind ge-

wöhnlich 10° und 150°. Für Turmaline von gleichen Dimensionen sind diese Gränzen fast dieselben, sie ändern sich aber mit der Länge.

4. Wenn man einen Turmalin regelmässig erwärmt, d. h. so, dass an allen Punkten seiner Oberfläche das Steigen der Temperatur dasselbe ist, so wird das eine Ende positiv, das andere negativ, und jeder Pol behält seine Elektricität, so lange die Temperatur steigt.

5. Wenn ein Turmalin durch Erwärmen elektrisch geworden ist und darauf regelmässig erkaltet, so verschwindet für einen Augenblick alle Elektricität, dann kehrt sich die Polarität um, d. h. derjenige Pol, welcher während des Erwärmens positiv war, wird jetzt negativ; der bisher negative wird positiv. Dann aber bleibt die Lage der Pole unverändert, so lange die Temperatur sinkt.

6. Die polarischen Eigenschaften scheinen nur von dem Wechsel der Temperatur abzuhängen, so dass ein Turmalin bei einer gegebenen Temperatur sich in drei verschiedenen Zuständen befinden kann; bei unveränderter Temperatur ist er nämlich im natürlichen Zustande, er erhält aber eine bestimmte Polarität, wenn die Temperatur im Steigen, die entgegengesetzte, wenn sie im Sinken ist.

7. Haüy hat manchmal eine Umkehrung der Pole während des Erwärmens und während des Erkaltens beobachtet. Diese Erscheinung, welche nicht immer stattfindet, hängt vielleicht von der verschiedenen Temperatur der äusseren und inneren Schichten ab.

Um die hier besprochenen elektrischen Erscheinungen des Turmalins zu untersuchen, haben die meisten Beobachter den zu untersuchenden Krystall in einem Papierschiffchen an einem umgedrehten Faden aufgehängt, so dass seine Längenaxe horizontal liegend sich leicht in einer horizontalen Ebene um die verticale durch den Faden gebildete Axe drehen kann; Haüy legte ihn auf den Fig. 186 dargestellten Apparat. Die Polarität des Stängelchens lässt sich leicht durch Annäherung eines elektrischen Körpers, z. B. einer geriebenen Siegellackstange, nachweisen, welche das eine Ende der Säule anzieht, das andere dagegen abstösst.

Fig. 186.



Schon Haüy erkannte, dass das Auftreten der Elektricität beim Erwärmen gewisser Krystalle mit der Hemiëdrie derselben im Zusammenhange stehe, ohne jedoch die Art dieses Zusammenhanges näher zu verfolgen. Brewster (Pogg. Annal. II, S. 301) entdeckte später viele Körper, welche beim Erwärmen polar-elektrisch werden, ohne dass an den Krystallen derselben bis jetzt eine Hemiëdrie beobachtet worden wäre; daher man noch nicht berechtigt ist, anzunehmen, dass polarische Elektricität und polarische Hemiëdrie stets eine Folge von einander sind.

Die Erscheinung der polaren Elektricität während des Erwärmens oder des Erkaltens findet sich aber doch am stärksten an hemiëdrischen

Krystallen ausgeprägt und hier findet auch ein bestimmter Zusammenhang zwischen der elektrischen Polarität und der Krystallform statt. Köhler (Pogg. Annal. XIII, S. 629) hat diesen Zusammenhang für Borazit und Kieselzinkerz nachgewiesen, bei dem Turmalin aber hatte er einen solchen noch nicht ausfindig gemacht.

Rose (Pogg. Annal. XXXIX, S. 285) hat die Beziehungen der elektrischen Polarität des Turmalins zu seiner Krystallform ausführlich untersucht und gelangte zu folgendem Resultate: Die vorherrschende

Fig. 187.



Fig. 188.

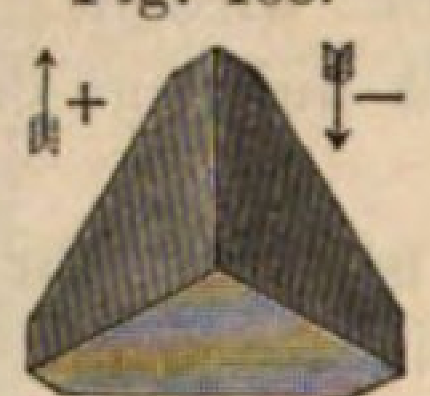
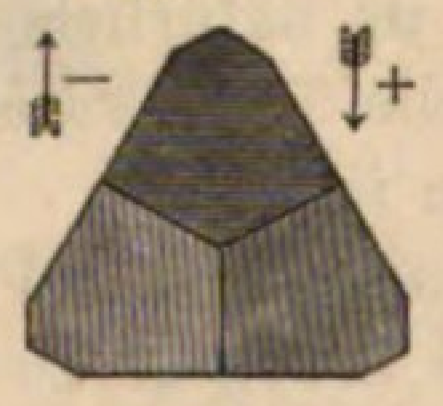


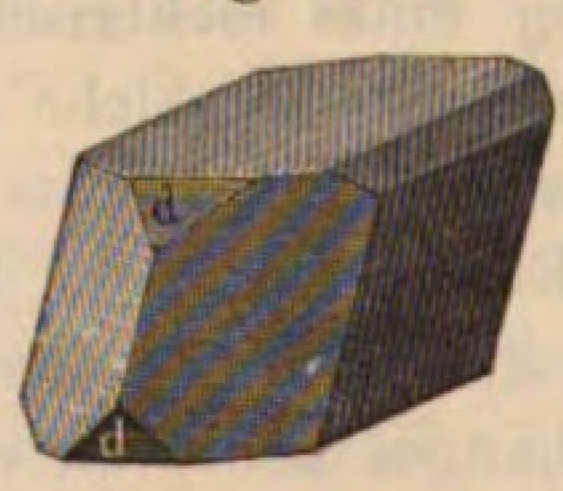
Fig. 189.



Form des Turmalins ist eine dreiseitige Säule, deren Kanten durch je zwei der Säulenaxe parallele Flächen abgestumpft sind, wie Fig. 187 zeigt, und welche oben und unten durch Rhomboëderflächen begränzt ist; an dem einen Ende nun treffen die Kanten des Rhomboëders auf die Kanten der Säule, wie Fig. 188, welche den Krystall Fig. 187 von unten betrachtet darstellt. Am anderen Ende aber treffen die Rhomboëderkanten auf die Mitte der Säulenflächen, wie Fig. 189 zeigt. Während die Temperatur steigt, zeigt nun das Ende Fig. 188 positive, das Ende Fig. 189 negative Elektricität; bei sinkender Temperatur hingegen ist das Ende Fig. 188 negativ, das andere aber positiv elektrisch.

Hankel (Pogg. Annal. XLIX, S. 493) wandte zur Bestimmung der elektrischen Polarität von Krystallen das Bohnenberger'sche Elektroskop an. Der Zucker zeigte eine elektrische Polarität, wenn seine Temperatur stieg oder abnahm, wie dies bereits Brewster beobachtet hatte. Die Krystallform des Zuckers ist die Fig. 190 dargestellte; er ist aber häufig in der Art hemiëdrisch, dass die beiden Flächen *d* an der vorderen Kante fehlen, während sie an der gegenüberstehenden hinteren Kante auftreten. Hankel fand nun, dass beim Erkalten dasjenige Ende negativ elektrisch ist, an welchem die Flächen *d* fehlen, positiv hingegen die gegenüberliegende Kante, wo sie sich vorfinden. Beim Erwärmen zeigt der Krystall natürlich die entgegengesetzte Polarität.

Fig. 190.



Nach Brewster's Vorgang kann man die soeben besprochene Elektricitätserscheinung mit dem Namen Pyroelektricität bezeichnen. Rose und Riess nennen denjenigen Pol des Krystalles, an welchem das algebraische Zeichen der Temperaturveränderung dem Zeichen der dadurch erregten Elektricität entspricht, den analog elektrischen Pol; den anderen Pol nennen sie den antilog elektrischen Pol.

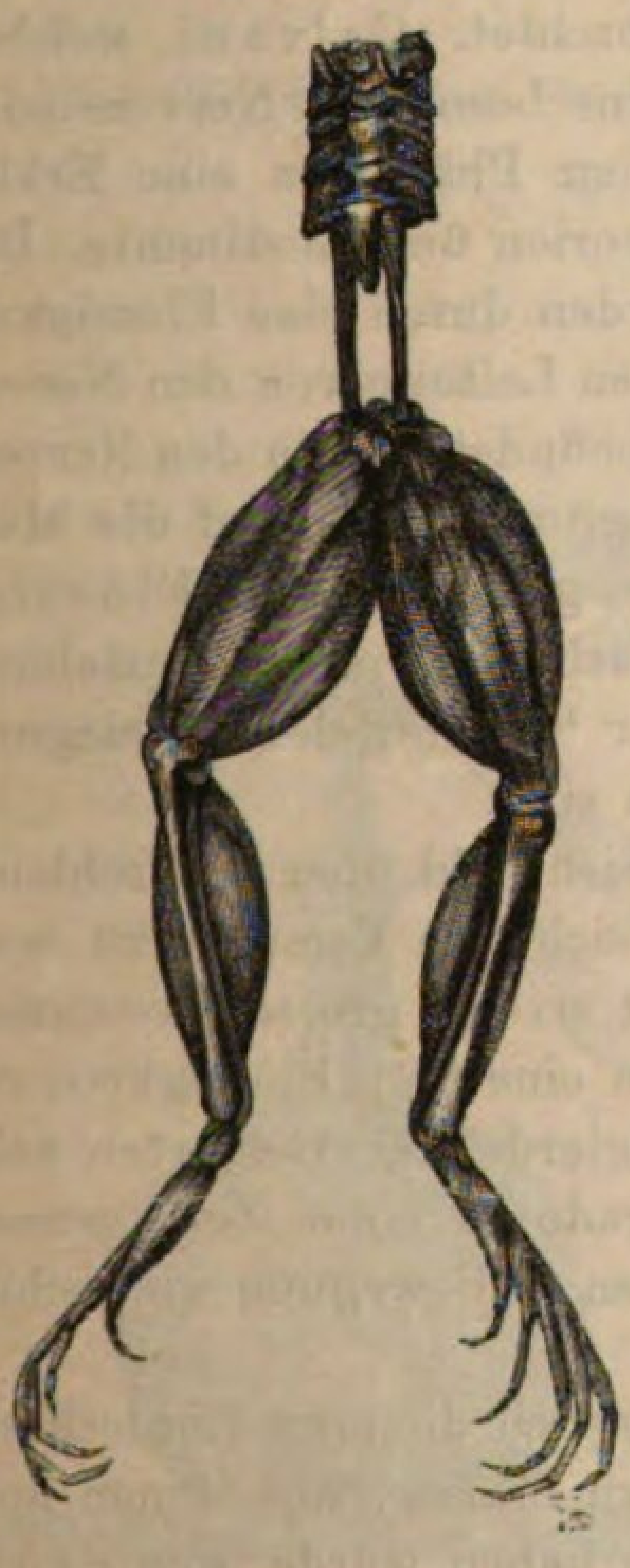
Beim Turmalin ist demnach das Ende, an welchem die Kanten des Hauptrhomboëders auf den Flächen des dreiseitigen Prismas aufgesetzt erscheinen, Fig. 189, der antilog elektrische Pol, während Fig. 188 den analog elektrischen Pol darstellt.

Beim Borazit fanden Rose und Riess Köhler's Angaben bestätigt, dass die vier Hexaëderecken, an welchen sich die glänzenden Tetraëderflächen finden, die antilogen, die vier anderen, die theils ohne, theils mit matten Tetraëderflächen vorkommen, die analogen Pole sind. Hankel dagegen fand, dass beim Borazit, wie beim Titanit während des Erwärmens sowohl, wie während des Erkaltens ein Polaritätswechsel stattfindet, so dass die Bezeichnung der Pole als analoge und antiloge für diese Fälle wenigstens ihre Bedeutung verliert (Pogg. Annal. Bd. LXXIV).

Es giebt noch manche andere Krystalle, welche ähnliche elektrische Eigenschaften haben wie die eben besprochenen.

Entdeckung des Galvanismus. Nachdem Ludwig Galvani, Professor der Medicin in Bologna, im Jahre 1789 die Zuckung eines Froschschenkels durch den elektrischen Rückschlag beobachtet hatte, ohne die richtige Erklärung der Erscheinung zu finden, wollte er versuchen, ob der Froschschenkel solche Zuckungen nicht etwa auch unter dem Einfluss der atmosphärischen Elektricität mache und hing zu diesem Zweck die Schenkel frisch getödteter Frösche mittelst metallener Haken an einem eisernen Balcongeländer auf. In der That beobachtete er an solchen Präparaten Zuckungen, deren nähere Untersuchung eine Reihe der wichtigsten Entdeckungen zur Folge hatte. 66

Fig. 191.



Die Froschschenkel, an welchen Galvani seine Beobachtungen machte, waren in der Weise präparirt, wie man in Fig. 191 sieht. Nachdem das eben getödtete Thier durchgeschnitten ist, wird von dem unteren Theile rasch die Haut abgezogen, und indem man die Spitze der Scheere unter die beiden Schenkelnerven bringt, welche auf jeder Seite der Wirbelsäule als weisse Fäden erscheinen, nimmt man mit zwei Schnitten die zwei oder drei untersten Rückenwirbel weg, so dass die Schenkelnerven blossliegen und die unteren Glieder nur durch sie mit den oberen Wirbelknochen zusammenhängen. Galvani hatte den kupfernen Haken in der Wirbelsäule befestigt und beobachtete

jedesmal eine Zuckung der Schenkel, so oft sie mit dem eisernen Geländer in Berührung kamen. Diese Wirkungen nehmen meistens schnell ab, so dass man gewöhnlich 20 bis 30 Minuten nach dem Tode des Thieres nur noch sehr schwache Zuckungen der Muskeln wahrnehmen kann.

Fig. 192.



Man kann den galvanischen Grundversuch sehr bequem mit Hülfe der Vorrichtung Fig. 192 anstellen. Ein Stück Kupferblech *b* ist durch einen Kupferdraht *c* mit dem Zinkblech *a* verbunden. Um stets metallische Verbindung zu erhalten, kann man den Kupferdraht an die beiden Bleche anlöthen. — Berührt man nun mit einem dieser Bleche die Schenkel, mit dem anderen die Nerven, so tritt alsbald eine Zuckung der Schenkel ein.

Indem Galvani genau diese Umstände angab, unter welchen die Erscheinung erfolgt, hat er sie wohl von den unbestimmten convulsivischen Bewegungen unterschieden, welche man an Insecten, Reptilien und Fischen oft noch lange nach ihrer Verstümmelung beobachtet. Galvani, welcher sehr für die Idee eingenommen war, dass es eine besondere Nerven- oder Lebensflüssigkeit gebe, stand nicht an, von dem Phänomen eine Erklärung zu geben, welche mit seinen Lieblingstheorien übereinstimmte. Die Zuckungen der Froschschenkel, sagte er, werden durch eine Flüssigkeit hervorgebracht, welche vermittelst einer äusseren Leitung von den Nerven zu den Muskeln überströmt; diese Flüssigkeit befindet sich in den Nerven, sie geht von diesen durch den metallischen Leitungsbogen auf die Muskeln über. Diese neue Flüssigkeit wurde die galvanische Flüssigkeit genannt, und man dachte sich die organischen Körper in Beziehung auf die Flüssigkeit ungefähr wie eine Leydener Flasche, deren Belegung einerseits die Nerven, andererseits die Muskeln sind.

Der Lärm dieser Entdeckung verbreitete sich bald über Deutschland, Frankreich und England; überall beeilte man sich, die Versuche zu wiederholen und abzuändern; das Phänomen selbst erregte grosses Erstaunen, aber die Hoffnung, in den organischen Körpern eine feine Flüssigkeit, ein Lebensprincip, aufzufinden, steigerte die Neugierde der Gelehrten noch mehr. Ausserdem erschienen diese Ideen gerade in einer Zeit grosser Entdeckungen und Reformen, alle Geister waren in Bewegung und schienen durch den Reiz der Neuheit hingerissen.

Die ganze Richtung, in welcher man anfänglich die neue Entdeckung zu verfolgen suchte, drohte aber auf Irrwege zu führen, aus denen man vielleicht noch lange keinen Ausweg gefunden haben würde, wenn nicht

bald ein Mann von klarem Geiste diesen unnützen Versuchen ein Ende gemacht hätte. Dieser Mann war Alexander Volta, welcher durch seine Untersuchungen über das Elektrophor und den Condensator schon eine gute Schule durchgemacht hatte. Volta, Professor zu Pavia, wiederholte Galvani's Versuche mit unermüdlicher Aufmerksamkeit und fand bald, dass ein zum Gelingen des Versuchs sehr wichtiger Umstand bis dahin ganz übersehen oder doch nicht gehörig gewürdigt worden war. Um nämlich eine starke Wirkung zu erhalten, ist es durchaus nöthig, dass der Leitungsbogen, welcher die Nerven und Muskeln verbindet, aus zwei verschiedenen Metallen besteht, welche mit einander in Berührung sind.

Volta schloss aus seinen Versuchen, dass der Froschschenkel nicht wie eine Leydener Flasche zu betrachten sei; dass das hier wirkende Agens weder in den Nerven, noch in den Muskeln, sondern durch den Contact der beiden Metalle entwickelt werde und dass es mit der gewöhnlichen Elektricität vollkommen identisch sei. Volta's Lehre von der Elektricitätsentwicklung durch die Berührung verschiedener Metalle wurde längere Zeit allgemein als die richtige angenommen, bis eine genauere Untersuchung der chemischen Wirkungen des elektrischen Stroms und der Rolle, welche die Flüssigkeiten in der alsbald zu besprechenden Volta'schen Säule spielen, die meisten Physiker veranlasste, die Volta'sche Contacttheorie entweder gänzlich aufzugeben oder dieselbe doch wesentlich zu modificiren.

Der Volta'sche Fundamentalversuch. Der Versuch, welcher den Namen des Volta'schen Fundamentalversuchs führt und durch welchen Volta die Elektricitätsentwicklung durch Berührung heterogener Metalle zu beweisen glaubte, wird auf folgende Weise angestellt: Nachdem man sich überzeugt hat, dass der auf das Goldblattelektrometer, Fig. 193, geschraubte Condensator, dessen Platten aus Messing oder noch besser aus Kupfer verfertigt sind, seine Ladung ganz gut hält und, nachdem man ihn wieder in seinen natürlichen Zu- 67

Fig. 193.



stand versetzt hat, berührt man die obere Platte ableitend mit dem Finger, während man die untere Platte mit einem Stücke Zink berührt, welches dadurch, dass man es in der anderen Hand hält, auch mit dem Boden in leitender Verbindung steht. Es versteht sich von selbst, dass die Oberflächen der Condensatorplatten da, wo sie nicht mit einander in Berührung stehen, nicht gefirnisst sein dürfen, denn sonst wäre ja keine unmittelbare Berührung des Zinks mit dem Metall der Condensatorplatte möglich. Zieht man nun, nachdem die Berührung nur kurze Zeit gedauert hat, den Finger von der oberen, das Zink von der unteren Platte zurück, hebt man darauf die obere Condensatorplatte ab, so erhält man eine merkliche Divergenz der Goldblättchen, und zwar divergiren sie mit negativer Elektricität, denn sie fallen zusammen, wenn man dem Elektrometer von oben eine geriebene Glasstange nähert.

Volta war nun der Ansicht, die hier auftretende Elektricität könne nur durch die Berührung des Zinks und des Kupfers (oder Messings) entwickelt worden sein; hier wirke eine besondere Kraft, um die elektrischen Fluida zu trennen und in Bewegung zu setzen; die positive Elektricität gehe auf das Zink und von da in den Boden über, die negative hingegen gehe auf die untere messingene oder kupferne Condensatorplatte über.

Wenn man den Versuch in der Weise wiederholt, dass man die obere Condensatorplatte mit dem Zink, die untere mit dem Finger berührt, so divergiren die Goldblättchen mit positiver Elektricität.

Wendet man statt des Zinks ein Stück desselben Metalls an, aus welchem die Condensatorplatten gemacht sind, so erhält man keine Wirkung.

Um zu zeigen, dass die hier auftretende Elektricität nicht etwa von einem Druck oder einer Reibung der Metalle an der Berührungsstelle herrühre, änderte er den Versuch in der Weise ab, dass er statt des einfachen Zinkstabes die elektrische Doppelplatte, Fig. 194, in Anwendung brachte. Dieselbe besteht aus einer Zinkplatte und einer Kupferplatte, welche bei *st* zusammengelöthet sind. Nimmt man das Zink dieser Doppelplatte in die Hand, indem man mit dem Kupfer die untere Condensatorplatte berührt und zugleich die obere Condensatorplatte mit dem Boden in leitende Verbindung setzt, so erhält man denselben Ausschlag der Goldblättchen wie beim vorigen Versuche. An der Stelle, wo sich Zink und Kupfer berühren, soll also nach jahrelangem Contacte noch dieselbe Kraft thätig sein, wie im ersten Augenblicke der Berührung.

Fig. 194.



Volta stellt sich die Sache so vor, dass, wenn die beiden, ursprünglich im natürlichen Zustande befindlichen Metalle in Berührung gebracht werden, eine Zerlegung des neutralen Fluidums erfolge, dass sich freie positive Elektricität von der Spannung $+ e$ über die Zinkplatte und freie negative Elektricität von der Spannung $- e$ über die Kupferplatte ver-

breite. Die Ursache dieser Elektricitätserregung bezeichnet er als elektromotorische Kraft, welche in den Berührungspunkten der beiden Metalle stets thätig, die elektrische Differenz $2e$ zwischen denselben zu erhalten strebt, so dass, wenn man die freie negative Elektricität der Kupferplatte ableitet, die Zinkplatte eine Ladung freier positiver Elektricität von der Tension $+ 2e$ erhält. Wird von aussen her Elektricität zugeführt, so verbreitet sie sich gleichförmig über das ganze Plattenpaar, so dass, wenn die Spannung auf der Kupferplatte gleich $+ A$ ist, die auf der Zinkplatte $+ A + 2e$ sein wird.

Wenn man den Versuch mit der Doppelplatte, Fig. 194, in der Weise wiederholt, dass man die Kupferplatte in die Hand nimmt, mit der Zinkplatte aber die untere Seite der (kupfernen oder messingenen) Condensatorplatte berührt, so erhält man keine Ladung des Condensators. Es erklärt sich dies nach Volta so: die zum Boden abgeleitete Kupferplatte hat die Ladung o, das Zink $+ 2e$, das Kupfer der Condensatorplatte aber $+ 2e - 2e$ oder gleichfalls Null.

Wenn man dagegen den oben besprochenen Versuch in der Weise abändert, dass man abermals die Kupferplatte in der Hand haltend zwischen die Condensatorplatte und die Zinkplatte ein Scheibchen Löschpapier einschaltet, welches mit etwas gesäuertem Wasser angefeuchtet ist, so erhält man nach dem Aufheben der oberen Condensatorplatte einen Ausschlag mit positiver Elektricität.

Aus diesem Versuch folgert Volta, dass die Flüssigkeit des feuchten Scheibchens lediglich als Leiter der Elektricität fungire, dass sie aber in Berührung mit Metallen keine elektromotorische Kraft entwickele. Nach dieser Ansicht geht also von der Zinkplatte durch die feuchte Scheibe positive Elektricität auf die Condensatorplatte über, bis sie daselbst die Spannung $+ 2e$ erlangt hat, ohne dass diese positive Ladung durch eine entgegengesetzt wirkende elektromotorische Kraft gestört werde, wie es ohne die Einschaltung des feuchten Scheibchens der Fall war.

Die Spannungsreihe. Wenn man den Fundamentalversuch mit 68
verschiedenen Metallen wiederholt, so findet man, dass je zwei verschiedene Metalle ähnliche Erscheinungen geben, wie wir sie für Kupfer und Zink kennen lernten, doch sind die erhaltenen Ladungen je nach der Natur der Metalle bald stärker, bald schwächer. So wird z. B. Zink in Berührung mit Platin stärker positiv elektrisch als in Berührung mit Kupfer; das Kupfer wird, in Berührung mit Zink, negativ, in Berührung mit Platin, positiv elektrisch. Die folgende Tabelle enthält eine Reihe von Körpern, so geordnet, dass jeder der vorangehenden, in Berührung mit allen folgenden, positiv elektrisch wird.

+
Zink
Zinn
Eisen
Blei
Kupfer
Silber
Gold
Platin
Kohle
—

Diese Reihe führt den Namen der Spannungsreihe und die in ihr enthaltenen Körper haben die merkwürdige Eigenschaft, dass, wie man auch drei derselben aus der Reihe herausgreifen mag, die elektrische Differenz des ersten und letzten gleich ist der elektrischen Differenz des ersten und zweiten + der elektrischen Differenz des zweiten und dritten.

Bezeichnen wir z. B. mit

ZK die elektrische Differenz zwischen Zink und Kupfer
ZP „ „ „ „ Zink und Platin
KP „ „ „ „ Kupfer und Platin,

so ist

$$ZP = ZK + KP.$$

Die Richtigkeit dieser Behauptung folgt, wenn man sich einmal auf den Boden der Volta'schen Contacttheorie gestellt hat, aus der Thatsache, dass, aus welchem Metall auch die untere Condensatorplatte bestehen, aus welchen Metallen auch die doppelte Platte, Fig. 194, zusammengesetzt sein und welches Metall der Doppelplatte man auch in der Hand halten mag, doch der Ausschlag gerade ebenso stark erfolgt, als ob man mit einem Stabe des in der Hand gehaltenen Metalls die Condensatorplatte direct berührt hätte.

Ist z. B. die untere Condensatorplatte aus Zink verfertigt, die Doppelplatte aber aus Kupfer und Platin zusammengesetzt, so erhält man, wenn man das Platin der Doppelplatte in der Hand haltend mit dem Kupfer die zinkene Condensatorplatte berührt, denselben Ausschlag, als hätte man die zinkene Condensatorplatte direct mit einem in der Hand gehaltenen Platinstäbchen berührt.

Es folgt daraus weiter, dass, wie man auch eine Reihe von Platten verschiedener Metalle auf einander schichten mag, die elektrische Spannung der Endplatten dieselbe sein muss, als ob diese Endplatten mit Ausfall aller Zwischenplatten unmittelbar aufeinander lägen.

Die Metalle, dem Gesetze der Spannungsreihe folgend, bezeichnet Volta als Leiter erster Ordnung, zum Unterschiede von den Leitern zweiter Ordnung, welche, wie die chemisch zusammengesetzten

Flüssigkeiten zwar Leiter der Elektricität sind, aber in Berührung mit Metallen keine elektromotorische Kraft entwickeln.

Aus dem ungleichen Verhalten der Leiter erster und zweiter Ordnung folgerte Volta, dass man durch eine in gehöriger Weise ausgeführte Schichtung von Metallen und feuchten Scheiben eine Steigerung der elektrischen Spannung erzielen müsse. Wird auf eine zum Boden abgeleitete Kupferplatte K, Fig. 195, eine Zinkplatte Z gelegt, so ist, wie wir oben gesehen haben, die Spannung freier Elektricität auf der Kupferplatte gleich Null, auf der Zinkplatte aber $+ 2e$, wofür wir kurz E setzen wollen. Wird nun auf die Zinkplatte eine feuchte Scheibe und auf diese in gleicher Ordnung wie unten wieder ein Plattenpaar von Kupfer und Zink gelegt, so muss sich die elektrische Spannung $+ E$ über die feuchte Scheibe und über das ganze obere Plattenpaar verbreiten; da aber die obere Zinkplatte um die Quantität E mehr positiv elektrisch sein muss, als die mit ihr in Berührung stehende Kupferplatte, so ist ihre Ladung $+ 2E$.

Auf diese Weise fortschliessend ergiebt sich, dass, wenn man eine zweite feuchte Scheibe und auf diese ein drittes Kupferzinkpaar auflegt,

Fig. 195.

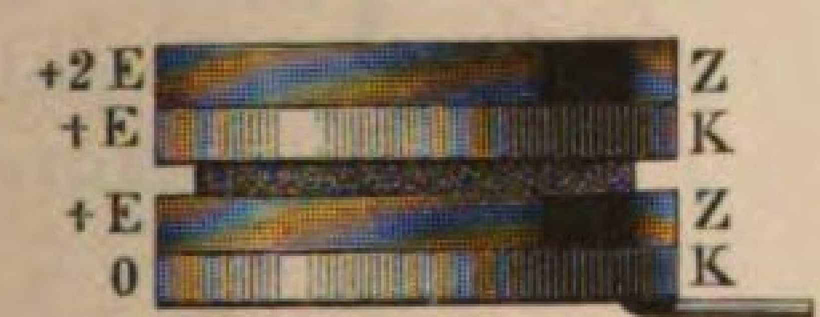


Fig. 196.

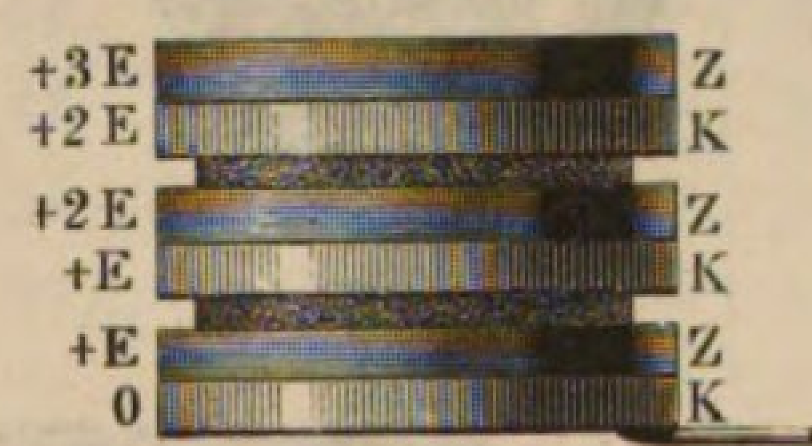


Fig. 196, die freie Spannung der obersten Zinkplatte $+ 3E$, dass sie für n in solcher Weise mit Zwischenlegung feuchter Scheiben aufgebauter Plattenpaare gleich nE sein müsse.

Der Versuch hat das Resultat dieser Schlussweise vollkommen bestätigt, was wesentlich dazu beigetragen hat, der Volta'schen Contacttheorie allgemeine Anerkennung zu verschaffen.

Sitz der elektromotorischen Kraft. Alle in dem vorigen 69
Paragraphen besprochenen Versuche lassen sich aber auch vollständig erklären, wenn man nicht die Berührungsstelle zweier Metalle, sondern die Berührungsstelle zwischen Metallen und Flüssigkeiten als den Sitz der elektromotorischen Kraft annimmt.

Bei dem in Fig. 193, Seite 191, dargestellten Versuche scheint freilich auf den ersten Anblick gar keine Flüssigkeit im Spiele zu sein, allein der Versuch gelingt nur unvollständig, wenn die Haut der Finger sehr trocken ist; er gelingt besser, wenn man sie mit Wasser, sehr gut, wenn man sie mit Salzwasser befeuchtet.

Um das elektromotorische Verhalten der Flüssigkeiten näher zu untersuchen, construirte Buff einen Condensator in folgender Weise: auf das Elektrometer, Fig. 197 (a. f. S.), wurde eine (nicht gefirnisste) Metallplatte

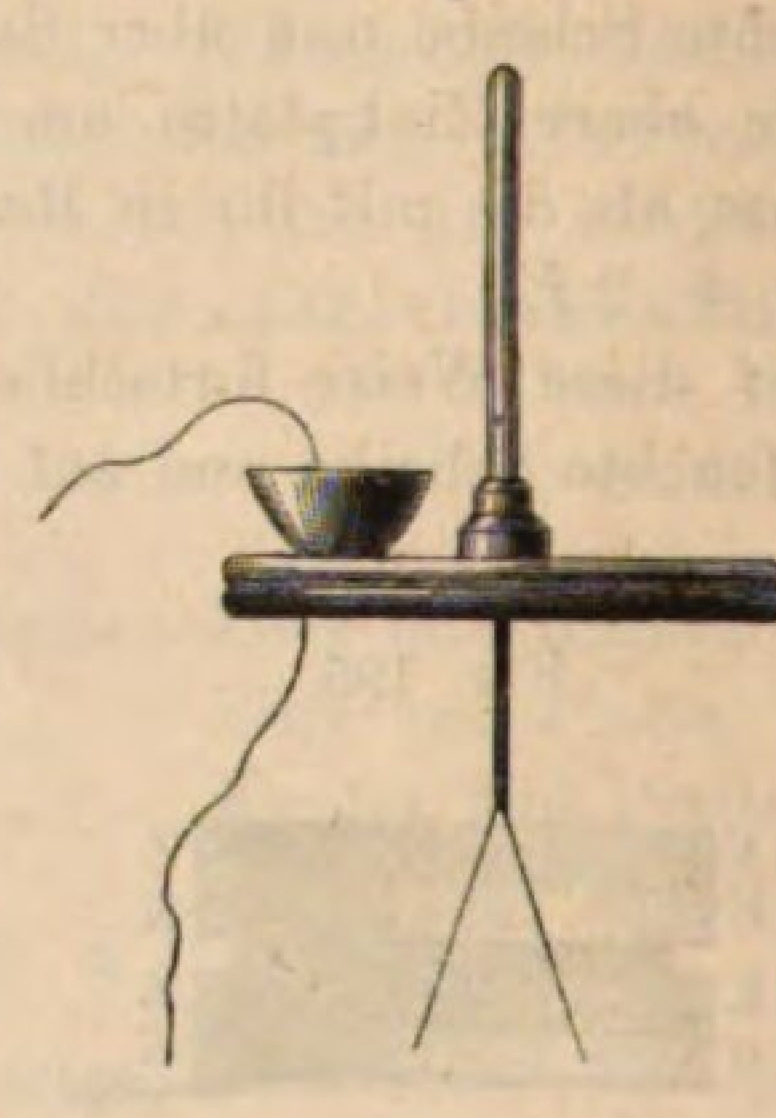
aufgeschraubt, auf diese eine möglichst dünne Glasplatte aufgelegt, deren Durchmesser etwas grösser war als der der Metallplatte, und auf diese Glasplatte eine Papierscheibe, welche mit der zu untersuchenden Flüssigkeit getränkt wurde. Auf diese Weise bildet die Flüssigkeit gleichsam die obere Condensatorplatte, welche mit der unteren Condensatorplatte durch einen Draht in Verbindung gesetzt wurde, welcher aus demselben Metalle bestand wie die untere Platte selbst.

Ist die Condensatorplatte von Zink, die Flüssigkeit reines oder ge-

Fig. 197.



Fig. 198.



säuertes Wasser, der Verbindungsdraht ebenfalls Zink, so wird der Condensator negativ geladen.

Dieser Versuch zeigt zweifellos, dass das Zink in Berührung mit reinem oder gesäuertem Wasser eine negativ-elektrische Ladung annimmt.

Eine wesentliche Bedingung zum Gelingen des Versuchs ist es, dass die Glasplatte vollkommen isolirend sei. Wenn sie durch eine auf ihrer Oberfläche condensirte Schicht von Wasserdampf leitend geworden ist, so gelingt der Versuch nicht. Man thut deshalb gut, die Glasplatte vor dem Versuche durch Erwärmen zu trocknen.

Wenn man den durch Fig. 197 erläuterten Versuch in der Weise wiederholt, dass man die Zinkplatte durch eine Kupferplatte und den Zinkdraht durch einen Kupferdraht ersetzt, so findet man, dass auch das Kupfer in Berührung mit gesäuertem Wasser negativ- elektrisch wird, wenn auch in weit geringerem Grade, als es bei Zink der Fall ist.

Wiederholt man den Versuch in gleicher Weise mit einer Platinplatte und einem Platindraht, so nimmt das Platin in Berührung mit verdünnter Schwefelsäure eine schwach positive Ladung an.

Becquerel hat die Elektricitätserregung bei der Berührung eines Metalls und einer Flüssigkeit in folgender Art nachgewiesen. Auf die obere Collectorplatte, Fig. 198, eines Goldblattelektrometers wird ein Schälchen gesetzt, welches aus demselben Metall verfertigt ist, wie die Collectorplatte selbst. In dieses Schälchen wird die zu untersuchende Flüssigkeit gegossen und dann die untere Condensatorplatte sowohl wie die Flüssigkeit ableitend mit dem Finger berührt. Es ist klar, dass dieses Verfahren keine so reine Resultate liefern kann, wie das Buff'sche.

Mit einem Elektrometer experimentirend, welches eine Messung der Divergenz der Goldblättchen gestattet, erhielt Péclet theils nach dem Becquerel'schen, theils nach einem dem Buff'schen ähnlichen Verfahren die in folgender Tabelle (Auszug aus der Originaltabelle) zusammengestellten Werthe für die Stärke der Elektricitätserregung verschiedener Metalle durch Flüssigkeiten.

	Zink.	Blei.	Eisen.	Kupfer.	Platin.
Verdünnte Schwefelsäure $^1/_{50}$	— 27	— 14	— 13	— 2,5	+ 6
Verdünnte Salpetersäure $^1/_{50}$.	— 26	— 13	— 8	— 2,5	+ 4
Kalilauge $^1/_{20}$	— 30	— 24	— 19,5	— 11,5	— 5
Schwefelkalium	— 30	— 17,5	— 17,5	— 22,5	— 17

Bezeichnet man mit — 1 die elektrische Ladung, welche Kupfer in Berührung mit stark verdünnter Schwefelsäure annimmt, so ist also ungefähr

— 10 die elektrische Ladung, welche Zink
— 5 „ „ „ „ Eisen und
+ 2,5 „ „ „ „ Platin

in Berührung mit derselben Flüssigkeit annimmt.

Die Art und Stärke des elektrischen Gegensatzes, zwischen dem Metall und der Flüssigkeit, ist durch das chemische Verhalten derselben bedingt. Im Allgemeinen werden diejenigen Metalle in Berührung mit einer bestimmten Flüssigkeit am stärksten negativ erregt, welche am stärksten angegriffen werden.

Die Elektricitätserregung durch Berührung von Metallen und Flüssigkeiten ist zweifellos nachgewiesen und allgemein anerkannt; ob aber auch bei Berührung heterogener Metalle im Sinne der Volta'schen Contacttheorie Elektricität entwickelt werde, darüber sind die Ansichten der Physiker noch immer getheilt. Von der Ansicht ausgehend, dass der Sitz der elektromotorischen Kraft nur an den Berührungsstellen der Metalle und Flüssigkeiten und nicht an der Berührungsstelle heterogener Metalle zu suchen sei, lässt sich, wie im nächsten Paragraphen gezeigt werden wird, die Theorie der Volta'schen Säule eben so einfach ableiten, wie

aus der Volta'schen Contacttheorie. Will man aber neben der Elektricitätserregung zwischen Metallen und Flüssigkeiten auch noch eine Elektricitätserregung zwischen heterogenen Metallen annehmen, so wird die Theorie der Säule weit verwickelter.

Eine eingehendere Discussion darüber, ob der Volta'schen Contacttheorie oder der in diesem Paragraphen entwickelten Ansicht über die Quelle der Elektricitätsentwickelung in der Volta'schen Säule der Vorzug zu geben sei, kann erst nach der Besprechung der chemischen Wirkungen des galvanischen Stromes ihren Platz finden.

70 **Die Volta'sche Säule.** Die elektrische Spannung, welche eine Metallplatte in Berührung mit einer erregenden Flüssigkeit annimmt, ist so gering, dass es eines guten mit einem Goldblattelektrometer verbundenen Condensators bedarf, um dieselbe nachzuweisen. Volta hat aber, wie bereits in §. 68 erwähnt wurde, gezeigt, dass sich diese elektrische Spannung dadurch steigern lasse, dass man in gleicher Ordnung zweierlei Metallplatten und feuchte Scheiben aufeinanderlegend eine Säule aufbaut.

Zum Aufbau seiner Säule wandte Volta Kupferplatten, Zinkplatten und Tuchscheiben an, welche mit gesäuertem Wasser oder mit Salzwasser getränkt wurden.

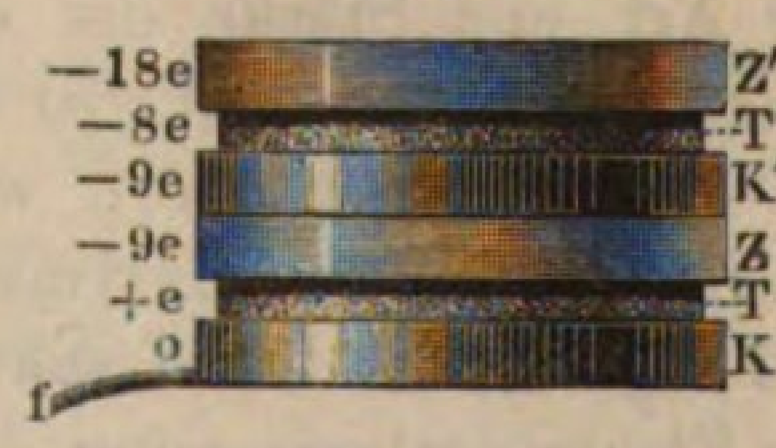
Es ist nun zunächst darzuthun, dass die Theorie der Volta'schen Säule sich auch aus der im vorigen Paragraphen besprochenen Ansicht über den Sitz der elektromotorischen Kraft ableiten lässt.

Wenn eine Kupferplatte K, Fig. 199, auf welcher eine mit gesäuertem Wasser getränkte Tuchscheibe T liegt, durch einen Kupferdraht mit dem Boden in leitende Verbindung gebracht wird, so wird ihr alle freie Elektricität entzogen, die elektrische Ladung der Tuchscheibe aber wird $+ e$, wenn wir mit e die elektrische Differenz zwischen dem Kupfer und der Flüssigkeit bezeichnen. Wird auf die feuchte Tuchscheibe nun eine Zinkplatte gelegt, so nimmt diese die elektrische Ladung $- 9e$ an, da ja

Fig. 199.



Fig. 200.



die Zinkplatte um die Quantität $10e$ mehr negativ elektrisch ist, als die sie berührende Flüssigkeit.

Eine derartige Combination einer Kupferplatte und einer Zinkplatte, zwischen denen eine feuchte Scheibe liegt, wird ein Volta'sches Element genannt.

Wird auf das erste Volta'sche Element in gleicher Ordnung ein zweites gelegt, wie Fig. 200 zeigt, so geht negative Elektricität von der Zinkplatte Z auf das obere Volta'sche Element über, während eine

gleiche Menge positiver Elektricität durch den Draht f abgeleitet wird. Die zwischen der Flüssigkeit der Tuchscheibe T und den beiden sie berührenden Metallplatten thätige elektromotorische Kraft ersetzt alle abströmende Elektricität in der Art, dass der elektrische Zustand des untersten Volta'schen Elementes unverändert erhalten bleibt, dass also die Zinkplatte Z die elektrische Ladung $-9e$ beibehält.

Ein elektrisches Gleichgewicht wird aber erst dann eintreten können, wenn auf das obere Volta'sche Element so viel negative Elektricität übergegangen ist, dass auch die Kupferplatte K' gleichfalls die Ladung $-9e$ angenommen hat. Alsdann aber wird die Ladung

der Tuchscheibe T' gleich $-9e + e = -8e$
die der Zinkscheibe Z' gleich $-8e - 10e = -18e$ sein.

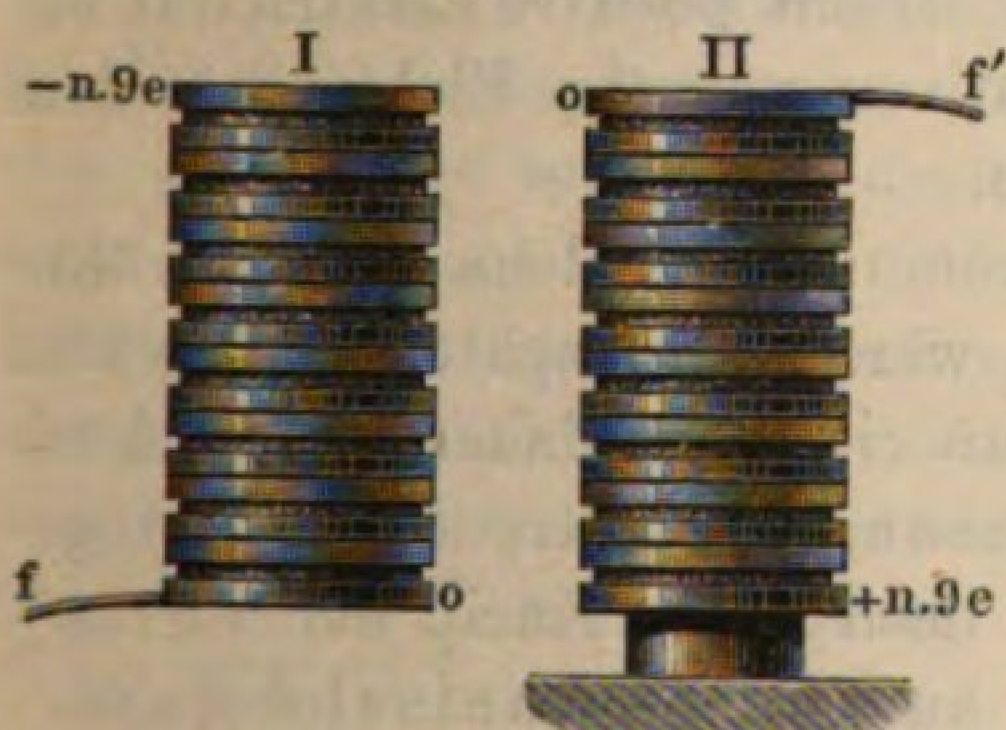
Die negative elektrische Ladung der Zinkplatte Z' in der Combination Fig. 200 ist also doppelt so gross als die Ladung der Zinkplatte Z eines einfachen Volta'schen Elementes, Fig. 199.

Auf gleiche Weise kann man weiter schliessen, dass wenn man 3, 4, 5 ... n Volta'sche Elemente in gleicher Ordnung auf einander baut und die unterste Kupferplatte ableitend berührt, dass alsdann die negativ elektrische Ladung der obersten Zinkplatte 3, 4, 5 ... nmal so gross sein wird, als für ein einzelnes Volta'sches Element.

Die Richtigkeit dieses Satzes lässt sich mittelst eines mit einem guten Condensator versehenen Goldblattelektrometers leicht auch experimentell bestätigen.

Fig. 201 stellt zwei in ganz gleicher Weise aufgebaute Säulen dar, deren jede aus n Volta'schen Elementen besteht. Wenn bei der ersten die unterste Kupferplatte ableitend berührt ist, so ist hier die Spannung der freien Elektricität gleich 0, am oberen Ende der Säule I aber ist sie, wie wir gesehen haben, gleich $-n.9e$. Wenn nun aber die unterste Kupferplatte der Säule II isolirt ist (wenn sie also etwa auf einer Glasplatte liegt), während die oberste Zinkplatte derselben ableitend berührt ist, so ist klar, dass die Spannung der freien Elektricität am oberen Ende der Säule II gleich 0, am unteren Ende derselben dagegen gleich $+n.9e$ ist.

Fig. 201.

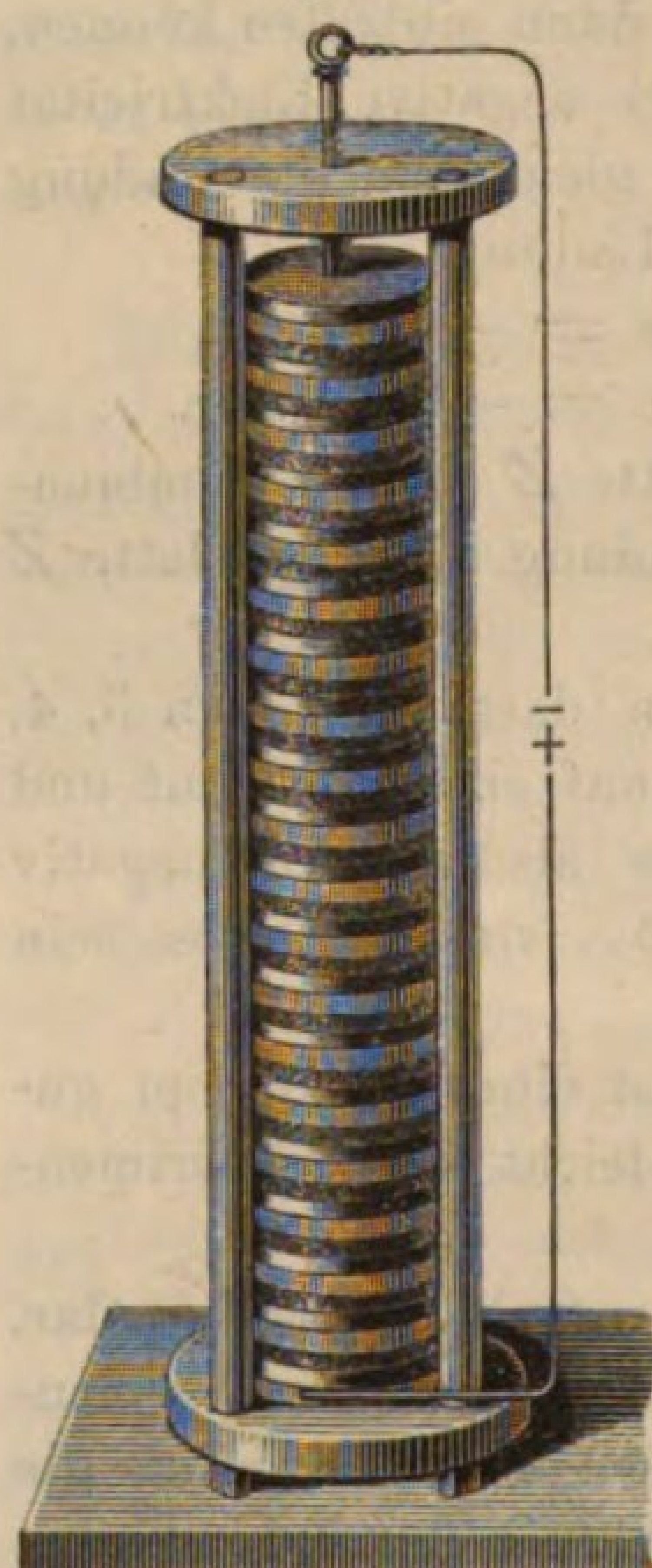


Wird nun die Säule I so auf die Säule II gesetzt, dass die ableitend berührte Kupferplatte von I auf die ableitend berührte Zinkplatte von II zu liegen kommt, und alsdann die ableitenden Drähte entfernt, so haben wir nun eine einzige Säule von $2n$ Plattenpaaren, welche vollständig isolirt ist, und welche an ihrem Zinkende die negativ elektrische Ladung $-n.9e$, an ihrem anderen Ende aber die positiv elektrische Ladung $+n.9e$ hat.

Das Zinkende dieser Säule führt den Namen des negativen, das Kupferende den des positiven Pols.

Die Volta'sche Säule wird gewöhnlich zwischen drei in einem Brett von trockenem Holze befestigten Stäben von Glas aufgebaut, wie Fig. 202 zeigt.

Fig. 202.



Um eine innigere Berührung der zusammengehörigen Kupfer- und Zinkplatten zu erzielen, werden dieselben zusammengelöthet.

Wenn beide Pole der Volta'schen Säule isolirt sind, oder wenn nur der eine isolirt und der andere ableitend berührt ist, so sagt man, die Säule sei offen. An den isolirten Polen der offenen Säulen lassen sich elektrische Spannungserscheinungen beobachten, welche um so kräftiger sind, je grösser die Anzahl der Plattenpaare ist.

Wenn die beiden Pole der Volta'schen Säule in leitende Verbindung gebracht werden, so ist die Säule (oder wie man auch öfters sagt: die Kette) geschlossen. Von dem positiven Pol strömt nun die positive Elektricität durch den Schliessungsbogen fortwährend nach dem negativen Pole hin, während die negative Elektricität den Schliessungsbogen in entgegengesetzter Richtung durchströmt; in der Säule selbst aber strömt positive Elektricität beständig dem positiven, negative Elektricität dem negativen Pol zu.

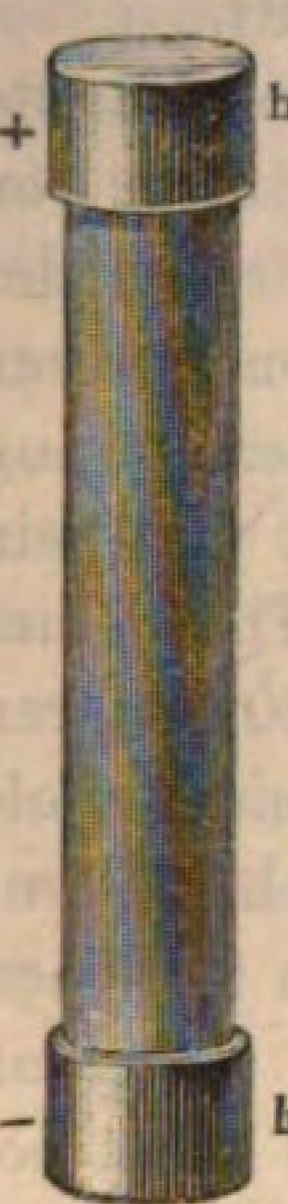
Die Wirkungen dieser elektrischen Strömungen, welche man gewöhnlich als galvanische Ströme bezeichnet, werden wir später besprechen.

Jede Vorrichtung, mit Hülfe deren man einen fortdauernden elektrischen Strom erzeugen kann, wird ein Rheomotor (Stromerzeuger) genannt. Stromerzeugende Apparate, welche nach dem Princip der Volta'schen Säule construirt sind, werden häufig auch als galvanische Batterien oder als galvanische Ketten bezeichnet. Die elektrischen Ströme, welche sie liefern, werden, da wässerige Flüssigkeiten einen wesentlichen Bestandtheil dieser Batterien bilden, auch hydro-elektrische Ströme genannt.

71 **Die trockene Säule.** Ganz nach dem Principe der Volta'schen hat Zamboni eine Säule construirt, in welcher der feuchte Leiter durch eine Papierscheibe ersetzt ist, und welche deshalb die trockene Säule genannt wird. Man construirt die trockenen Säulen am bequemsten aus unechtem Gold- und Silberpapier: man klebt mit Kleister einen Bogen unechten Silberpapiers (Zinn) und einen Bogen unechten Goldpapiers (Kupfer)

mit den Papierseiten zusammen, so dass man ein Papierblatt hat, welches auf der einen Seite mit Kupfer, auf der anderen mit Zinn überzogen ist. Mehrere solcher Blätter werden auf einander gelegt und mittelst eines stählernen Durchschlages Scheibchen ausgeschlagen. Diese Scheibchen haben $^1/_2$ bis 1 Centimeter Durchmesser, wenn man kleinere, 2 bis 4 Centimeter, wenn man grössere Säulen machen will. Diese Scheibchen werden nun in eine wohl isolirende Glasröhre, an welche einerseits bereits eine messingene Kapsel angekittet ist, so geschichtet, dass dasselbe Metall stets nach derselben Seite gekehrt ist. Die obere Hülse *h*, Fig. 203, wird erst aufgeschraubt, wenn das ganze Röhrchen gefüllt ist. Man muss dafür sorgen, dass die Scheibchen nicht zu lose auf einander liegen, sondern, dass sie durch Aufsetzen der zweiten Kapsel möglichst stark zusammengepresst werden. Die beiden Messingkapseln bilden die beiden Pole der Säule.

Fig. 203.



Zamboni hat sehr wirksame trockene Säulen auch in der Weise construirt, dass er auf der unbelegten Seite eines Bogens von unechtem Silberpapier fein gepulverten Braunstein (Manganhyperoxyd) mittelst eines Korkstopfens einrieb. Aus solchen Blättern wurden dann die Scheiben ausgeschlagen, welche zum Aufbau der Säule dienen sollten.

Eine trockene Säule von 100 bis 200 Scheibchen bringt bereits ohne Condensator eine, wenn auch nicht bedeutende, Divergenz am Goldblattelektrometer hervor. Mit wachsender Zahl der Plattenpaare wächst die Divergenz. An den Polen einer trockenen Säule von mehreren tausend Plattenpaaren ist die elektrische Spannung stark genug, um am Strohhalmelektrometer eine mehr oder weniger bedeutende Divergenz hervorzubringen und eine sehr dünnglasige Leydener Flasche oder, noch besser, einen Glimmercondensator stark genug zu laden, um einen merklichen Schlag zu geben. Singer construirte eine trockene Säule von 20000 Paaren, welche eine dünnglasige Flasche von 50 Quadratzoll Oberfläche in 10 Minuten so stark lud, dass der Entladungsschlag einen Platindraht von 1 Zoll Länge und $^1/_{5000}$ Zoll Durchmesser schmolz, oder einen Schlag gab, welcher bis in die Achseln fühlbar war.

Die kräftigsten trockenen Säulen, selbst eine von 20000 Paaren, bringen noch keine chemische Wirkung hervor, wozu, wie wir bald sehen werden, schon eine Volta'sche Säule von wenigen Plattenpaaren ausreicht. Ueberhaupt giebt die trockene Säule zwar bedeutende Spannungserscheinungen, aber die Stromeffecte fehlen ihr. Dass diese Erscheinungen bei der Zamboni'schen Säule fehlen, hat besonders in der unvollkommenen Leitungsfähigkeit des Papiers seinen Grund. Die elektrischen Flüssigkeiten können nur langsam die Säule bis zu den Polen durchwandern, und in Folge dieser Langsamkeit tritt ein Gleichgewichtszustand ein, den wir sogleich näher untersuchen wollen.

Wenn beide Pole der Säule isolirt sind, so häufen sich die entgegengesetzten Elektricitäten bald in gleichem Maasse an den Polen an; die Spannung wächst hier, bis die Elektricitätsmenge, welche jeder Pol durch die Luft in einem gegebenen Zeittheilchen verliert, gleich derjenigen Menge ist, welche in derselben Zeit dem Pole durch die Säule wieder zugeführt wird. Von diesem Augenblicke an bleibt die Spannung an den Polen constant. Wird nun die Luft feuchter, so beträgt der elektrische Verlust an den Polen einen grösseren Bruchtheil der gesammten daselbst angehäuften Elektricität, während doch die Menge der dem Pole zugeführten Elektricität dieselbe bleibt; daraus ergiebt sich dann, dass in feuchter Luft die Spannung an den Polen geringer sein muss als in trockener Luft.

Die Zamboni'schen Säulen wendet man an, um das sogenannte elektrische *perpetuum mobile* zu construiren. Zwei Säulen, jede etwa von 2000 Paaren, werden so neben einander gestellt, dass bei der einen der positive, bei der anderen der negative Pol unten ist; diese beiden unteren Pole werden nun durch einen Metallstreifen in gut leitende Verbindung gebracht, während das Ganze isolirt bleibt, und dadurch erhält man ein System, welches in der That einer einzigen Säule von 4000 Paaren gleich ist, nur sind die beiden Pole dieser Säule nach oben gekehrt. Denken wir uns in die Mitte zwischen diese beiden oberen Pole ein ganz leichtes metallisches Pendel leicht beweglich und isolirt aufgehängt, so wird es von beiden Polen gleich stark angezogen, es bleibt also in Ruhe. Wird aber dieses Gleichgewicht gestört, so beginnt alsbald eine fortdauernde Bewegung. — Kommt z. B. das Pendel mit dem positiven Pole in Berührung, so wird es mit $+E$ geladen, vom $+$ Pole abgestossen und vom $-$ Pole angezogen; am letzteren Pole angekommen, giebt es an diesen seine Ladung ab, nimmt dagegen $-E$ auf und wird nun wieder nach dem $+$ Pole getrieben u. s. w. Ein Apparat der Art kann Jahre lang im Gange bleiben.

Fig. 204.

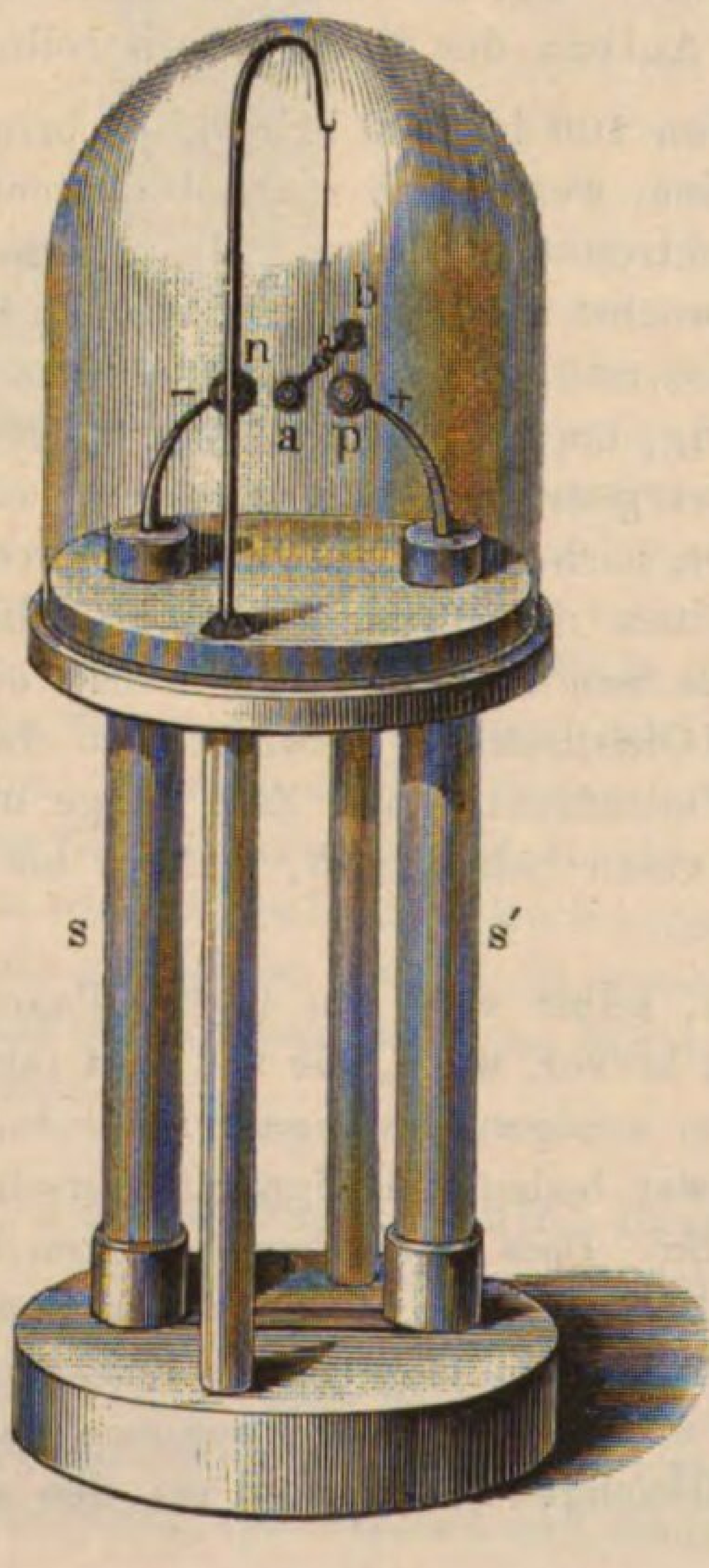


Fig. 204 stellt einen derartigen Apparat dar. s und s' sind die beiden Säulen. Die Messingkugeln n und p bilden ihre Pole. Das Pendel ab ist an einem einfachen Seiden-

faden aufgehängt. Es ist durch ein isolirendes Stäbchen gebildet, welches einerseits das hohle Messingkügelchen *a* trägt, das zwischen *p* und *n* hin- und hergeht, andererseits aber die Kugel *b*, welche nur dazu dient, der Kugel *a* das Gleichgewicht zu halten.

Um den Luftzug abzuhalten, ist der obere Theil des Apparates mit einer Glasglocke zugedeckt.

Das Säulenelektrometer. Zu den wichtigsten und sinnreichsten 72
Anwendungen, die man von der trockenen Säule gemacht hat, gehört unstreitig das Säulenelektrometer, welches in vielen Fällen, wo es sich um Nachweisung geringer elektrischer Spannungen handelt, wie z. B. beim Volta'schen Fundamentalversuche, ausgezeichnete Dienste leistet. Fig. 205 stellt das Säulenelektrometer in seiner ursprünglichen von Bennet herrührenden Form dar. Innerhalb eines $1^1/_2$ bis 2 Zoll weiten Glasrohres befinden sich zwei kleine Zamboni'sche Säulen; sie sind auf dem hölzernen Fusse befestigt, in welchen der Glascylinder eingelassen ist, und ihre unteren Enden sind durch einen Metalldraht in leitende Verbindung gebracht. Die oberen Enden der beiden Säulen, von welchen das eine ein positiver, das andere ein negativer Pol ist, sind mit kleinen Polplatten versehen. Durch den Deckel des Glascylinders geht, gehörig isolirt, ein Metalldraht herab, auf welchen oben eine Metallkugel oder eine Condensatorplatte aufgeschraubt werden kann, und an dessen unterem Ende ein einfacher Streifen von Blattgold aufgeklebt ist; das untere Ende desselben hängt gerade in der Mitte zwischen den Polplatten der beiden Säulen. Es ist nun klar, dass das Goldblättchen, wenn ihm auch nur die geringste elektrische Ladung mitgetheilt wird, nach der einen oder der anderen Seite ausschlagen muss, je nachdem die Ladung eine positive oder eine negative ist.

Fig. 205.

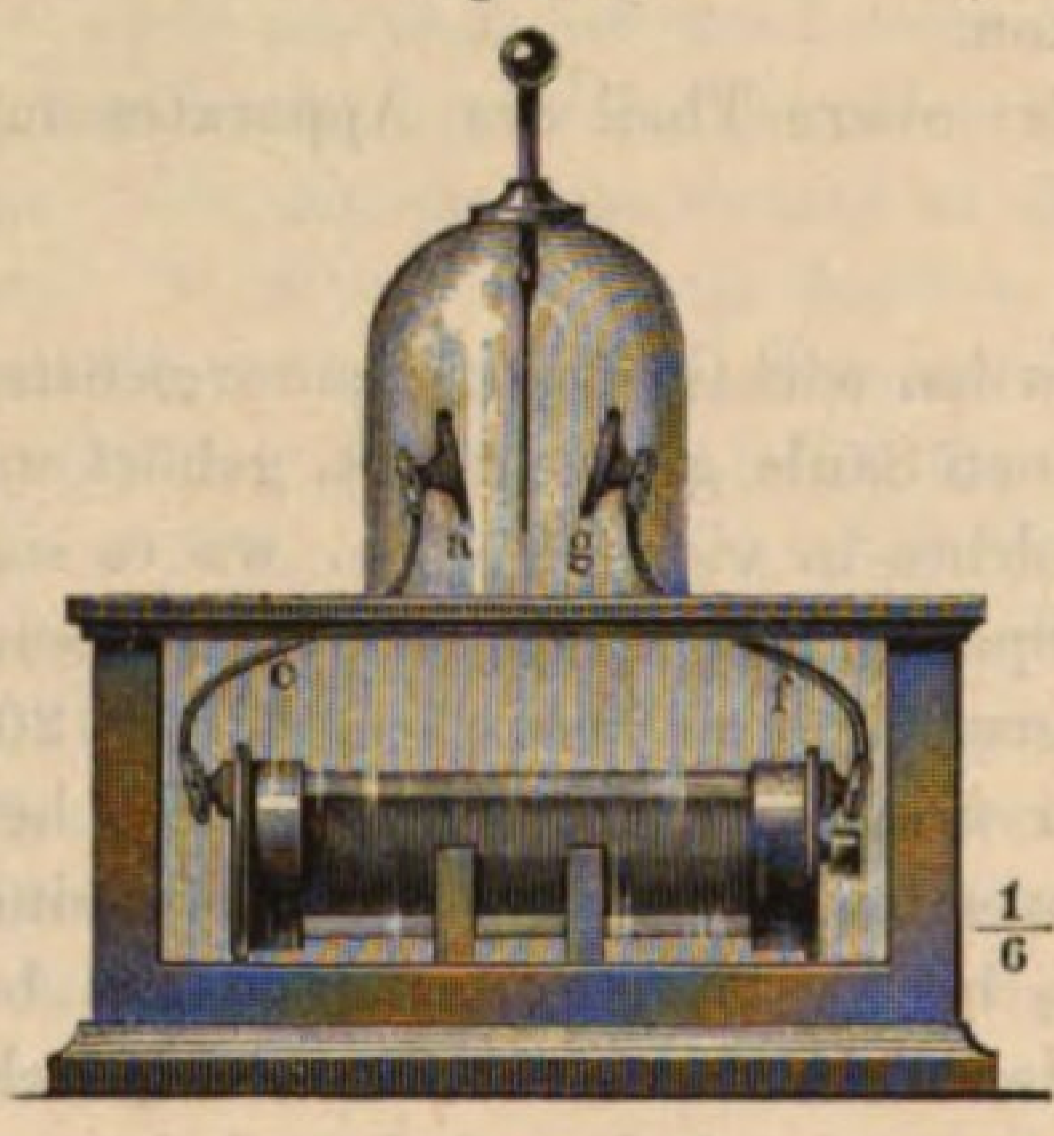


Bohnenberger änderte diesen Apparat in der Weise ab, dass er den Deckel des Glascylinders von Metall machte und an diesen die beiden Säulen anschraubte, so dass sie von oben in das Glasgefäss hinabragen und das untere Ende des Goldblättchens in der Mitte zwischen den unteren Polen der beiden Säulen hängt.

Statt zweier verticaler Säulen wandte Becquerel zuerst eine horizontale mit verticalen Polplatten an, zwischen welchen das Goldblättchen

herabhängt. Fechner hat diesen Apparat noch sehr verbessert und ihm die Fig. 206 dargestellte Einrichtung gegeben, durch welche er höchst empfindlich und ein für die leichte und sichere Anstellung der Volta'schen Fundamentalversuche sehr werthvolles Instrument wurde.

Fig. 206.



In dem Kasten, Fig. 206, befindet sich in horizontaler Lage eine Zamboni'sche Säule von 800 bis 1000 ungefähr thalergrossen Plattenpaaren, welche in einer Glasröhre luftdicht eingeschlossen sind, die an ihren Enden mit metallenen Kappen verschlossen ist. Diese Kappen stehen mit den Polen der Säule in leitender Verbindung, und von ihnen gehen die Metalldrähte c und f aus, welche, durch einen Spalt im Deckel des Kastens hindurchgehend, mit den Polplatten a und g endigen. Ueber diese ist nun eine Glasglocke gestülpt, in welcher das von einem isolirten Metalldrahte getragene Goldblättchen herabhängt. Ueber die neuesten Verbesserungen dieses Apparates findet man im ersten Bande der „Lehre von der Reibungselektricität" von Riess nähere Auskunft.

Drittes Capitel.

Der elektrische Strom und seine Wirkung auf die durchströmten Körper.

Entstehung des elektrischen Stromes. Wenn ein mit positiver Elektricität geladener Körper mit einem negativ elektrischen durch einen Leiter in Verbindung gesetzt wird, so gehen durch diesen Leiter die entgegengesetzten Elektricitäten zu einander über, es entsteht ein elektrischer Strom, dessen Dauer nur eine fast momentane ist, wenn die Ladung der beiden entgegengesetzt elektrischen Körper alsbald erschöpft wird, wie dies z. B. bei der Entladung der Leydener Flasche der Fall ist. Wenn aber den beiden entgegengesetzt elektrischen Körpern in dem Maasse wieder Elektricität zugeführt wird, als sie dieselbe nach der anderen Seite abgeben, so muss nothwendig ein continuirlicher elektrischer Strom entstehen. Ein derartiger Fall tritt ein, wenn der Conductor der Elektrisirmaschine durch einen Metalldraht mit dem Reibzeuge in leitende Verbindung gebracht wird. Alle positive Elektricität, welche nun durch das Drehen der Maschine dem Conductor zugeführt wird, strömt sogleich wieder von demselben durch den Draht nach dem Reibzeuge ab, während gleichzeitig die negative Elektricität des Reibzeugs auf den Conductor und von diesem auf die Glasscheibe überströmt. Während also alle Spannungserscheinungen vollkommen verschwinden, wird der Verbindungsdraht von continuirlichen Strömen durchflossen, welche aber in dem vorliegenden Fall viel zu schwach sind, um nur einigermaassen kräftige Wirkungen hervorzubringen, so dass man, um die Existenz dieses Stromes nachzuweisen, feinere Hülfsmittel in Anwendung bringen muss, welche wir erst später werden kennen lernen. 73

Die beiden Pole einer isolirten Volta'schen Säule sind nun gleichfalls mit entgegengesetzter Elektricität geladen, wenn man also die Kette schliesst, d. h. wenn man die beiden Pole der Säule in leitende Ver-

bindung bringt, so muss auch hier ein continuirlicher Strom entstehen, indem die von einem Pole zum anderen abströmende Elektricität beständig durch die Wechselwirkung zwischen der Flüssigkeit und den Metallen wieder ersetzt wird.

Während aber die Elektrisirmaschine zwar Elektricität von hoher Spannung, aber in so geringer Menge liefert, dass man an ihr nur Spuren von Stromeswirkungen nachweisen kann, ist umgekehrt die Volta'sche Säule, obgleich die elektrische Spannung an ihren Polen verhältnissmässig sehr gering ist, eine sehr reiche Elektricitätsquelle, so dass man ausschliesslich die Volta'sche Säule (freilich meist in anderen Formen als in der oben beschriebenen) anwendet, wo es sich um kräftige Stromeswirkungen handelt.

Die Wirkungen des galvanischen Stromes zerfallen in zwei Hauptabtheilungen, nämlich

1) diejenigen, welche in den durchströmten Körpern selbst hervorgebracht werden (Wärme- und Lichtphänomene, chemische Zersetzungen), und

2) solche, welche ein durchströmter Leitungsdraht auf benachbarte Körper hervorbringt (magnetische und diamagnetische Erscheinungen, Inductionsphänomene).

Bevor wir aber die verschiedenen Wirkungen des galvanischen Stromes selbst ausführlich besprechen können, müssen wir vorerst die verschiedenen Formen der Volta'schen Säule sowie die wichtigsten Gesetze der Stromstärke kennen lernen.

74 **Verschiedene Formen der galvanischen Kette.** Die §. 70 besprochene Volta'sche Säule war der erste hydroelektrische Rheomotor; allein diese Form bietet mannigfache Missstände. Die unteren Scheiben nämlich sind durch das Gewicht der oberen stärker zusammengedrückt; die feuchten Scheiben werden dadurch ausgepresst, sie werden trocken, während die Flüssigkeit an der Seite der Säule herunterrinnt; dadurch wird aber eine leitende Verbindung zwischen den einzelnen Plattenpaaren hervorgebracht, welche den Totaleffect schwächt.

Diesen Uebelstand suchte man zunächst durch den Trogapparat,

Fig. 207.



Fig. 208.

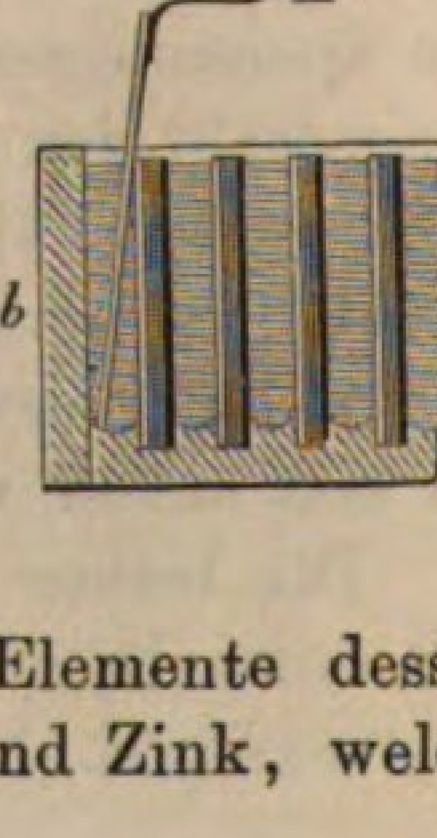
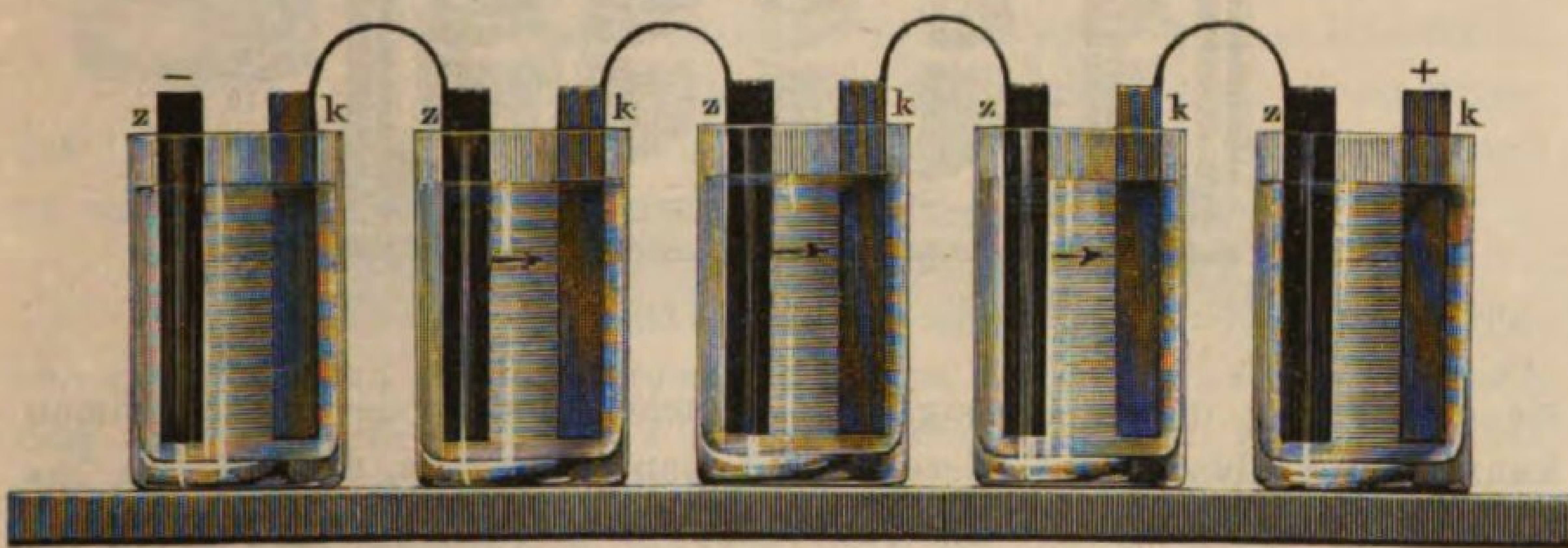


Fig. 207 und Fig. 208, zu vermeiden. Die einzelnen Elemente desselben bestehen aus rechtwinkligen Platten von Kupfer und Zink, welche

auf einander gelöthet sind. Diese Plattenpaare sind einander parallel in einem Kasten von Holz, dessen Wände inwendig mit einer nichtleitenden Harzschicht überzogen sind, so befestigt, dass der Zwischenraum zwischen je zwei Plattenpaaren eine Zelle, einen Trog bildet, der mit gesäuertem Wasser gefüllt wird. Diese Wasserschicht, welche ungefähr 3 Linien dick ist, vertritt hier die Stelle der feuchten Scheibe.

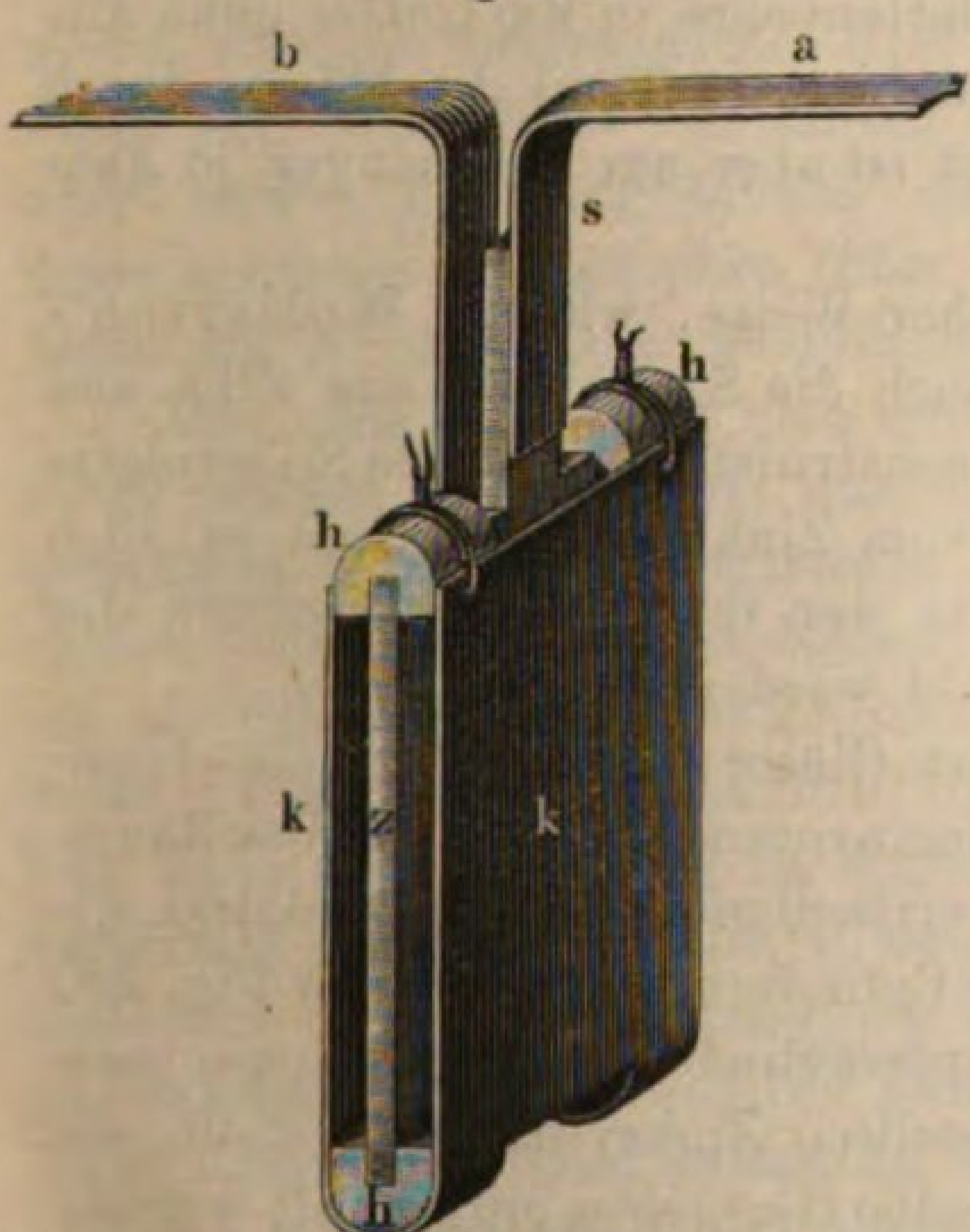
Bei anderen galvanischen Apparaten befindet sich die Flüssigkeit in getrennten Gefässen oder Gläsern, die zu einem Kreise oder in gerader Linie zusammengestellt sind. Jedes Glas enthält eine Zink- und eine Kupferplatte, die sich aber nicht berühren; jede Zinkplatte ist durch einen Kupferdraht oder Kupferstreifen mit der Kupferplattte des vorhergehenden Glases verbunden, wie dies durch das Schema Fig. 209 angedeutet ist,

Fig. 209.



wo die Kupferplatten mit *k*, die Zinkplatten mit *z* bezeichnet sind. **In jedem einzelnen Becher geht der positive Strom von der Zinkplatte durch die Flüssigkeit zur gegenüberstehenden Kupferplatte.**

Fig. 210.



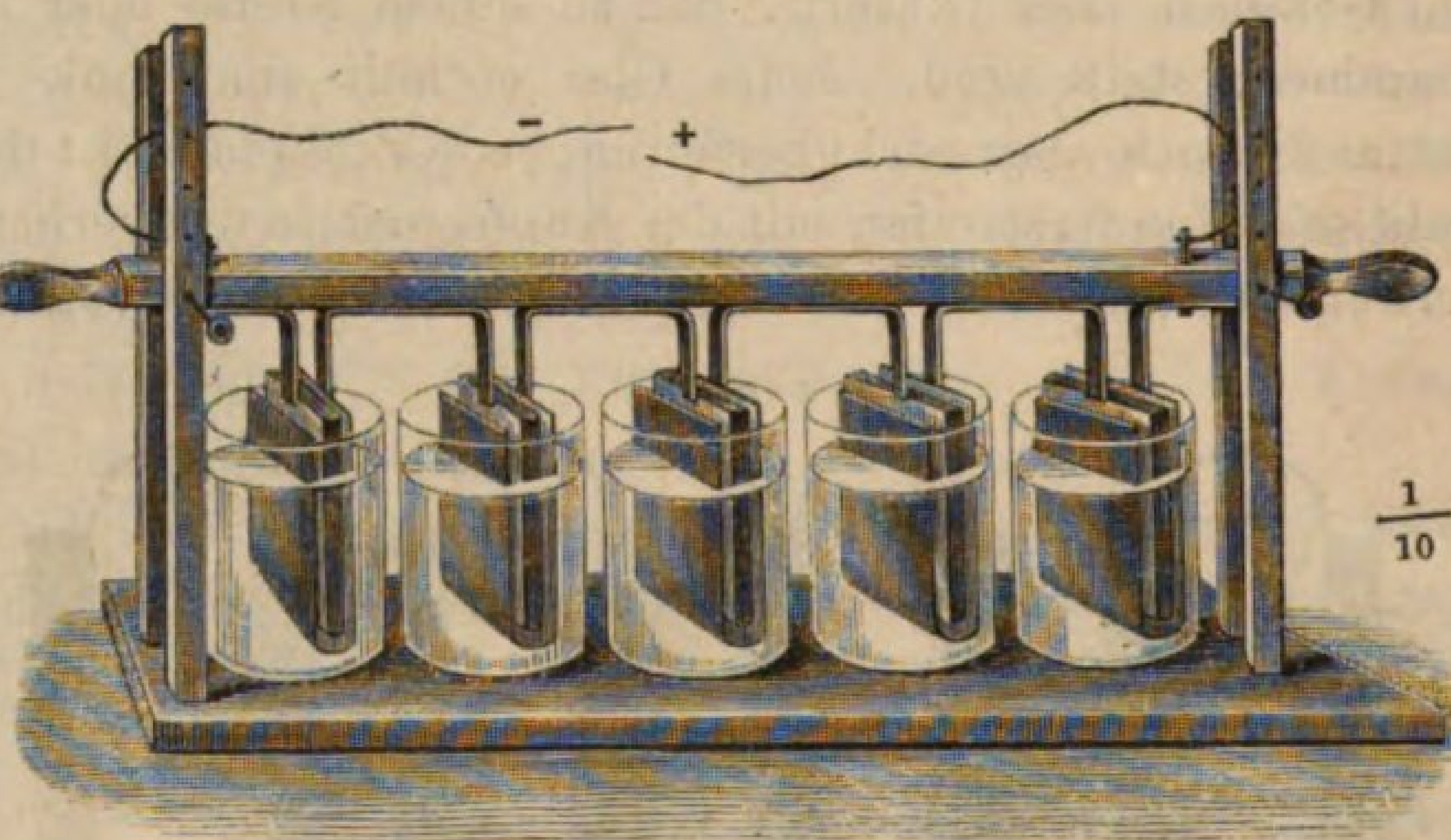
Jeder einzelne Becher mit seiner erregenden Flüssigkeit und den beiden in dieselbe eingetauchten Metallplatten wird ein **galvanisches Element genannt.**

Man hat die Form dieser Apparate durch Veränderung der Plattenform auf das Mannigfaltigste abgeändert; so ist z. B. in der **Wollaston**'schen Kette, von welcher in Fig. 210 ein Plattenpaar abgebildet ist, die Kupferplatte so um die Zinkplatte herumgebogen, dass jeder Seite der Zinkplatte eine Kupferfläche gegenübersteht. Die Zinkplatte *z* ist durch Holzstückchen vor leitender Berührung mit

der Kupferplatte *k* geschützt. Von der Kupferplatte *k* führt ein Kupferstreifen *b* zur Zinkplatte des vorhergehenden Plattenpaares. Wird ein solches Plattenpaar in die Säure eingetaucht für sich allein gebraucht, so bilden *a* und *b* die beiden Pole.

Fig. 211 zeigt die Wollaston'sche Batterie von fünf Plattenpaaren. Sämmtliche Plattenpaare sind an einer Holzleiste befestigt, so dass man

Fig. 211.



sie gleichzeitig in die Flüssigkeit eintauchen und wieder herausnehmen kann. Zur Füllung der Gefässe wendet man Wasser an, dem $^1/_{12}$ bis $^1/_{20}$ Schwefelsäure zugesetzt ist.

Statt der einzelnen Gläser wendet man auch Tröge von gebranntem und glasirtem Thon an, welche durch Scheidewände in einzelne Zellen getheilt sind, so dass immer ein Plattenpaar in eine Zelle kommt.

Diese Absonderung ist übrigens nicht absolut nöthig, die Säule ist auch noch wirksam, wenn man sämmtliche Plattenpaare in ein Gefäss ohne alle Abtheilungen eintaucht. Allerdings geht hier ein Theil des Effects durch Nebenschliessung verloren, dieser Verlust ist aber um so geringer, je kleiner die Anzahl der Plattenpaare ist.

Fig. 212.

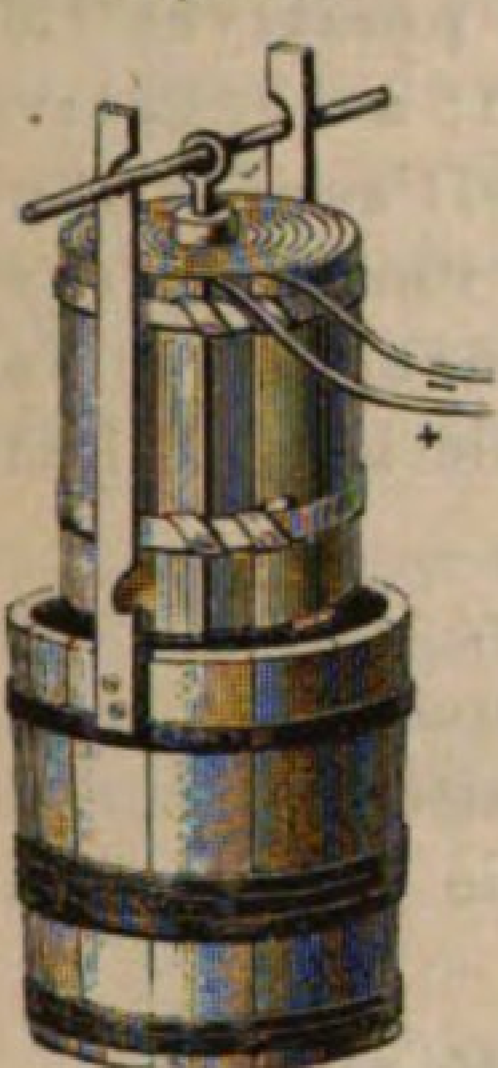


Ganz in ähnlicher Weise, wie die Wollaston'sche Batterie, ist auch die Smee'sche aus Zink und platinirtem Silber construirt; nur ist die Silberplatte auf beiden Seiten vom Zink umgeben, wie es auch bei der Platinplatte der Grove'schen Batterie der Fall ist, die wir bald werden kennen lernen.

Wo man getrennte Gläser anwendet, um die einzelnen Plattenpaare hineinzutauchen, da ist es der Raumersparniss wegen vortheilhaft, den Metallplatten die Form eines hohlen Cylinders zu geben, wie Fig. 212 zeigt, wo *k* den Kupfercylinder, *z* einen engeren concentrisch hineingestellten Zinkcylinder darstellt, wie sie in ein und dasselbe Glasgefäss eingestellt werden. Es versteht sich von selbst, dass der Zinkcylinder mit

dem Kupfercylinder desselben Gefässes nicht in metallischer Berührung steht. Jeder Kupfercylinder ist durch einen Kupferdraht oder einen Streifen von Kupferblech mit dem Zinkcylinder des folgenden Paares verbunden. — Dies ist die Grundform der meisten neueren Rheomotoren.

Fig. 213.



Wenn es auf eine sehr grosse Oberfläche der Metallplatten ankam, wandte man früher Hare's Calorimotor an, welcher Fig. 213 dargestellt ist. Auf einem Holzcylinder, welcher etwa 3 Zoll im Durchmesser hat und 1 bis 1,5 Fuss hoch ist, sind zwei Platten, die eine von Zink, die andere von Kupfer, gleichsam aufgewickelt, welche durch Tuchstreifen von einander getrennt sind. Man erhält auf diese Weise ein Plattenpaar von 50 bis 60 Quadratfuss Oberfläche. Der Name Calorimotor rührt daher, weil dieser Apparat besonders geeignet ist, kurze Metalldrähte glühend zu machen und zu schmelzen.

Die Daniell'sche Batterie. Bei allen den bis jetzt besprochenen einfachen und zusammengesetzten Ketten ist die Wirkung gleich nach dem Eintauchen in die saure Flüssigkeit sehr energisch, sie nimmt aber sehr rasch ab, weil sich in Folge der Zersetzung der Flüssigkeit durch den Strom eine Schicht von Wasserstoff auf die Kupferplatte absetzt. Diese Veränderlichkeit des Stromes ist nun immer, namentlich aber dann störend, wenn es sich darum handelt, messende Versuche über die Stromstärke anzustellen. Diesem Uebelstande sind nun die sogenannten constanten Batterien, die erst in neuerer Zeit in Aufnahme gekommen sind, ungleich weniger unterworfen. Hier wird vor der Hand nur eine Beschreibung der wichtigsten constanten Ketten folgen, die Theorie derselben aber, sowie die Vergleichung der verschiedenen constanten Batterien muss späteren Paragraphen (über die constanten galvanischen Rheomotoren und über galvanische Polarisation) vorbehalten bleiben. 75

Die constanten Batterien gründen sich, wie bald ausführlicher gezeigt werden soll, darauf, dass die Ablagerung von Wasserstoff an der negativen Metallplatte vermieden wird. Es wird dies meist dadurch erreicht, dass das negative Metall in eine andere Flüssigkeit eingetaucht ist als das positive. Gewöhnlich sind die einzelnen Plattenpaare in einzelne Gläser vertheilt, ähnlich wie bei der Wollaston'schen Batterie, Fig. 211; um aber Raum zu ersparen, sind sie nicht eben, sondern cylinderförmig gekrümmt. Die Flüssigkeit, in welche das negative Metall eintaucht, ist von der Flüssigkeit, in welche das positive Metall eintaucht, durch eine poröse Scheidewand getrennt, für welche man anfangs zum Theil thierische Blasen anwandte, welche später durch hohle poröse Thoncylinder ersetzt wurden, die unter dem Namen der Thonzellen bekannt sind.

Das Zink, welches, um einen zu heftigen Angriff durch die Säure zu verhindern, stets amalgamirt, d. h. mit einer Quecksilberschicht überzogen sein muss, dient bei allen constanten Batterien als positives*) Metall und ist in verdünnte Schwefelsäure eingetaucht; als negatives dagegen wird bei der Becquerel'schen oder Daniell'schen Säule Kupfer, eingetaucht in eine concentrirte Lösung von Kupfervitriol, bei der Grove'schen Platin, eingetaucht in concentrirte Salpetersäure, angewandt. Bei der Bunsen'schen Säule ist das Platin durch die noch mehr elektronegative Kohle ersetzt.

Fig. 214 stellt einen Daniell'schen Becher dar. Das mit einer Lösung von Kupfervitriol gefüllte Glasgefäss enthält zunächst einen aus Kupferblech gebogenen hohlen Cylinder *K*, innerhalb dessen die mit verdünnter Schwefelsäure gefüllte Thonzelle *T* steht. In die Flüssigkeit der Thonzelle ist dann der Zinkcylinder *Z* eingetaucht.

Fig. 214.

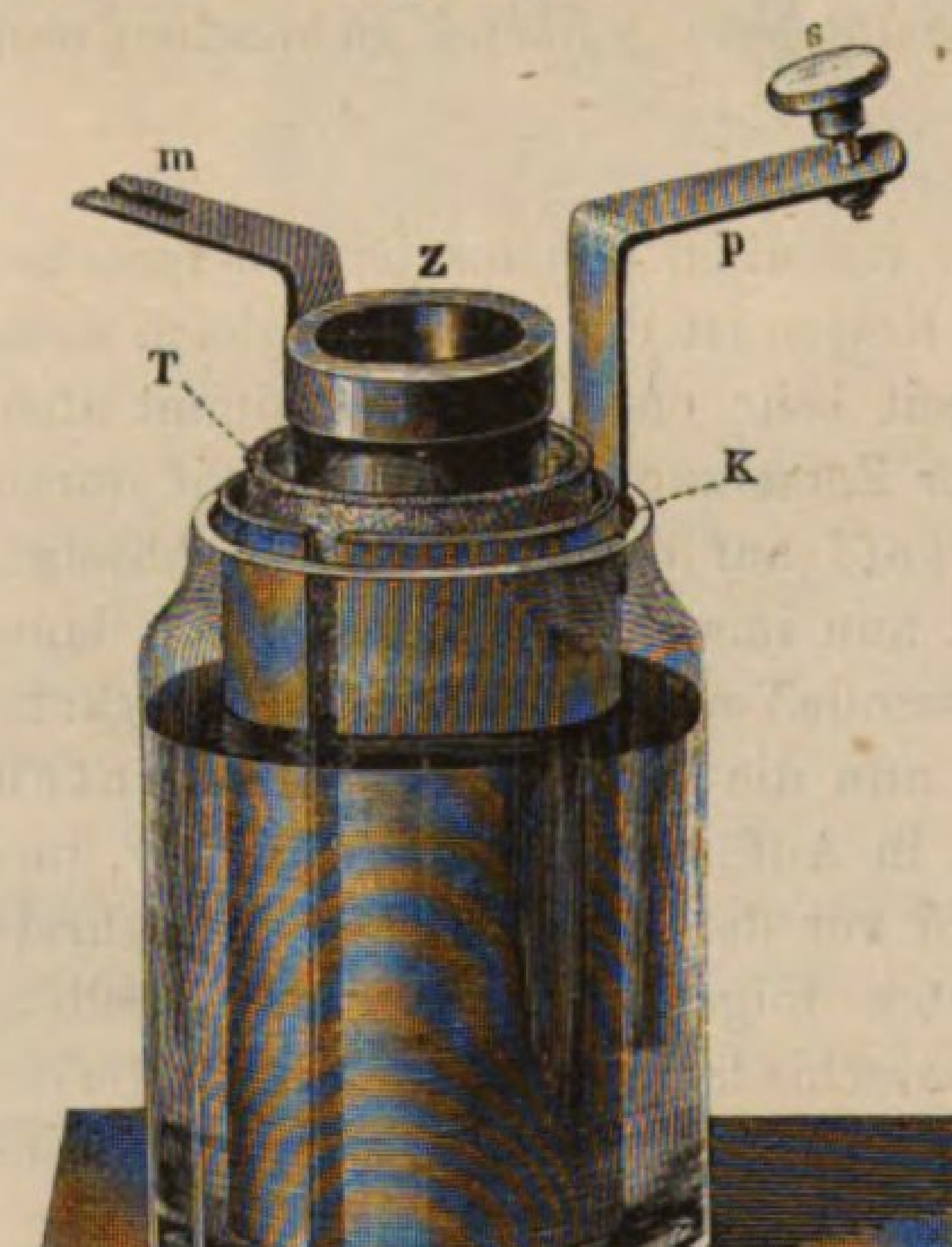
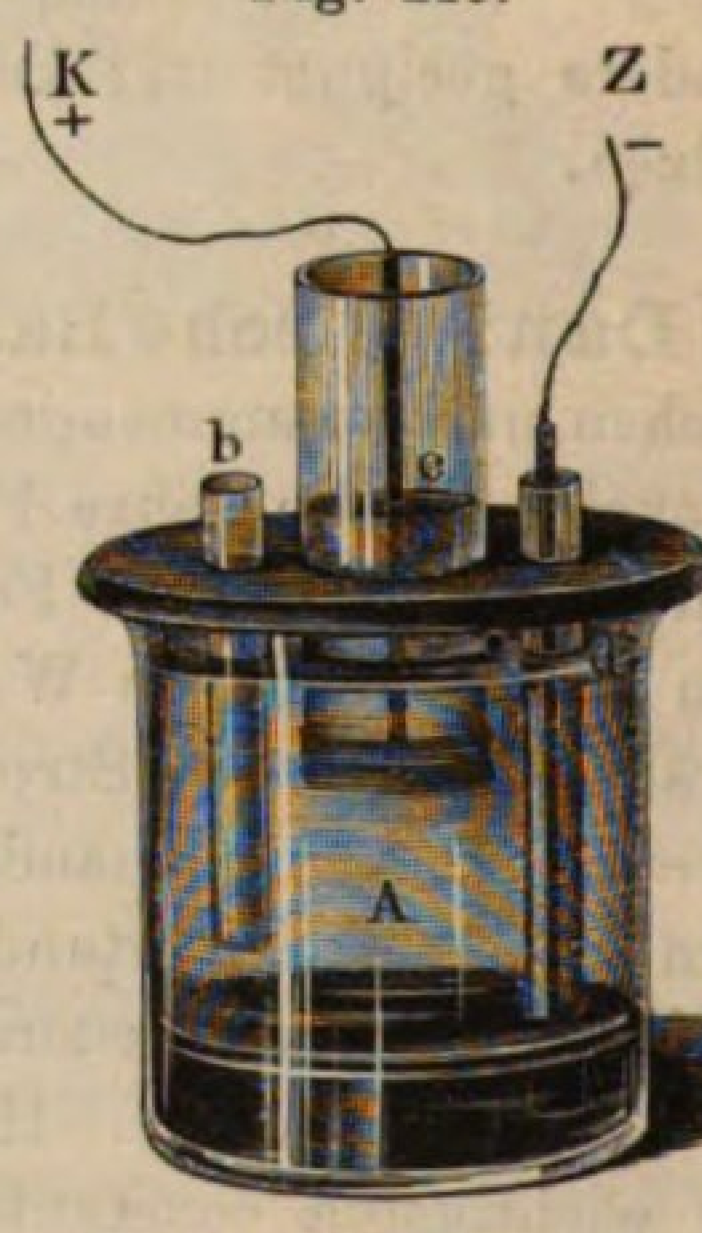


Fig. 215.



An dem Zinkcylinder ist ein geschlitzter Metallstreifen *m*, am Kupfercylinder ein Streifen *p* von Kupferblech befestigt, welcher die Schraube *s* trägt, vermittelst deren man den Kupferstreifen *p* mit dem Streifen *m* des nächsten Bechers zusammenschrauben kann.

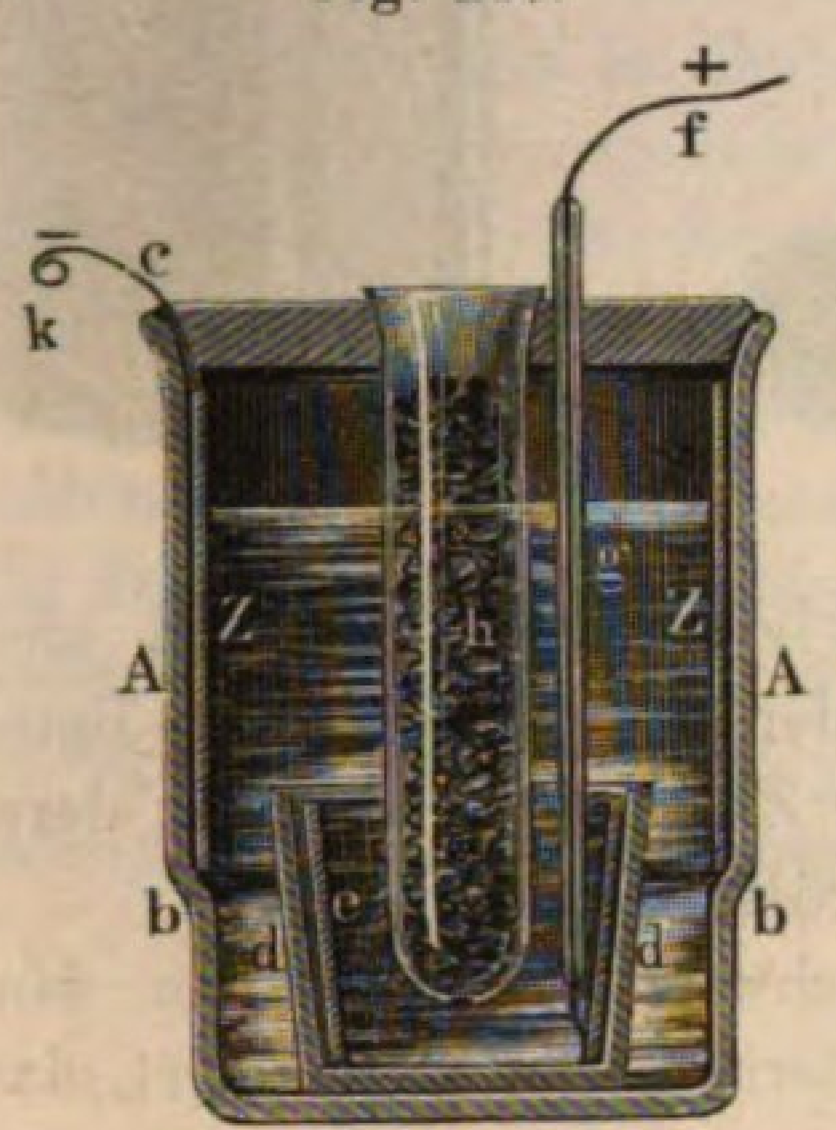
Um lange Zeit constante Ströme, wenn auch nur von geringer Stärke, zu erhalten, hat Buff das Daniell'sche Element in folgender Weise abgeändert. Das Glas *A*, Fig. 215, ist mit einem Deckel bedeckt, durch welchen drei Glasröhren hindurchgehen; *b* und *d* sind oben und

*) Das Zink ist hier als elektro-positives Metall der Säule bezeichnet, obgleich es, wie wir oben gesehen haben, in Berührung mit verdünnter Säure negativ erregt wird. Dieser scheinbare Widerspruch findet später in dem Capitel von den chemischen Wirkungen des Stromes seine Lösung.

unten offen. Das weitere Glasrohr *c*, welches unten mit einer Thierblase zugebunden ist, enthält eine Lösung von Kupfervitriol, in welche ein Kupferstäbchen eingetaucht ist. Der Boden des Glasgefässes *A* ist mit Quecksilber bedeckt, unter dessen Niveau das untere Ende der Röhre *d* hinabreicht, durch welche ein Zinkstäbchen eingeführt wird. Durch das über dem Quecksilber mündende Rohr *b* wird eine Lösung von Zinkvitriol eingegossen, bis die poröse Wand, welche das Rohr *c* unten schliesst, ganz von derselben bespült ist.

Meidinger hat die poröse Scheidewand ganz vermieden. In ein bei *b*, Fig. 216, sich verengendes Glasgefäss ist der Zinkring *Z* eingesetzt.

Fig. 216.



Auf den Boden des Glases *A* ist ein kleineres Glasgefäss *d* aufgekittet, in welchem sich das etwas konisch gebogene Kupferblech *e* befindet, dessen Zuleitungsdraht *f* von einer Glasröhre *g* umgeben ist. Von dem Deckel des Gefässes hängt eine etwas weitere Glasröhre *h* bis ins Gefäss *d* hinab, welche unten nur eine kleine Oeffnung hat und welche mit Stücken von Kupfervitriol gefüllt ist. Das Gefäss *A* wird mit einer Lösung von Bittersalz gefüllt, welche das Zink bespült, während das Gefäss *d* sich durch Auflösung der Krystalle in *h* mit einer Lösung von Kupfervitriol füllt, welche, wegen ihres grösseren specifischen Gewichtes, nur sehr langsam in der Bittersalzlösung diffundirt.

Andere Modificationen der Daniell'schen Säule, welche lange Zeit constante Ströme liefern, haben Siemens, Eisenlohr und Andere angegeben; alle diese Einrichtungen liefern aber nur schwache Ströme. Sobald starke Ströme in Anwendung kommen, ist diejenige Abnahme der Stromstärke unvermeidlich, welche von der raschen chemischen Aenderung der Flüssigkeiten herrührt.

Die Grove'sche Batterie ist aus Zink und Platin construirt. 76
Die ursprüngliche Form derselben wird durch Fig. 217 und Fig. 218 (a.f.S.) erläutert. Die Zinkplatte *Z* ist rectangulär umgebogen, wie Fig. 218 zeigt; zwischen die beiden Wände der Zinkplatte wird dann ein rectanguläres Gefäss *t* von porösem Thon eingesetzt, welches, mit concentrirter Salpetersäure gefüllt, zur Aufnahme der Platinplatte dient. Jede Zinkplatte wird in ein grösseres rectanguläres Porcellangefäss *A*, Fig. 217, gesetzt, welches mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt ist. An jede Zinkplatte ist ferner ein Kupferstreifen *s* angelöthet, an welchen die in die poröse Thonzelle des vorhergehenden Gefässes hinabhängende Platinplatte angepresst wird.

Die Fig. 217 stellt eigentlich eine ganz nach der Weise der ursprünglich Grove'schen Batterie construirte Zink-Kohlen-Säule dar, bei welcher

Fig. 217.

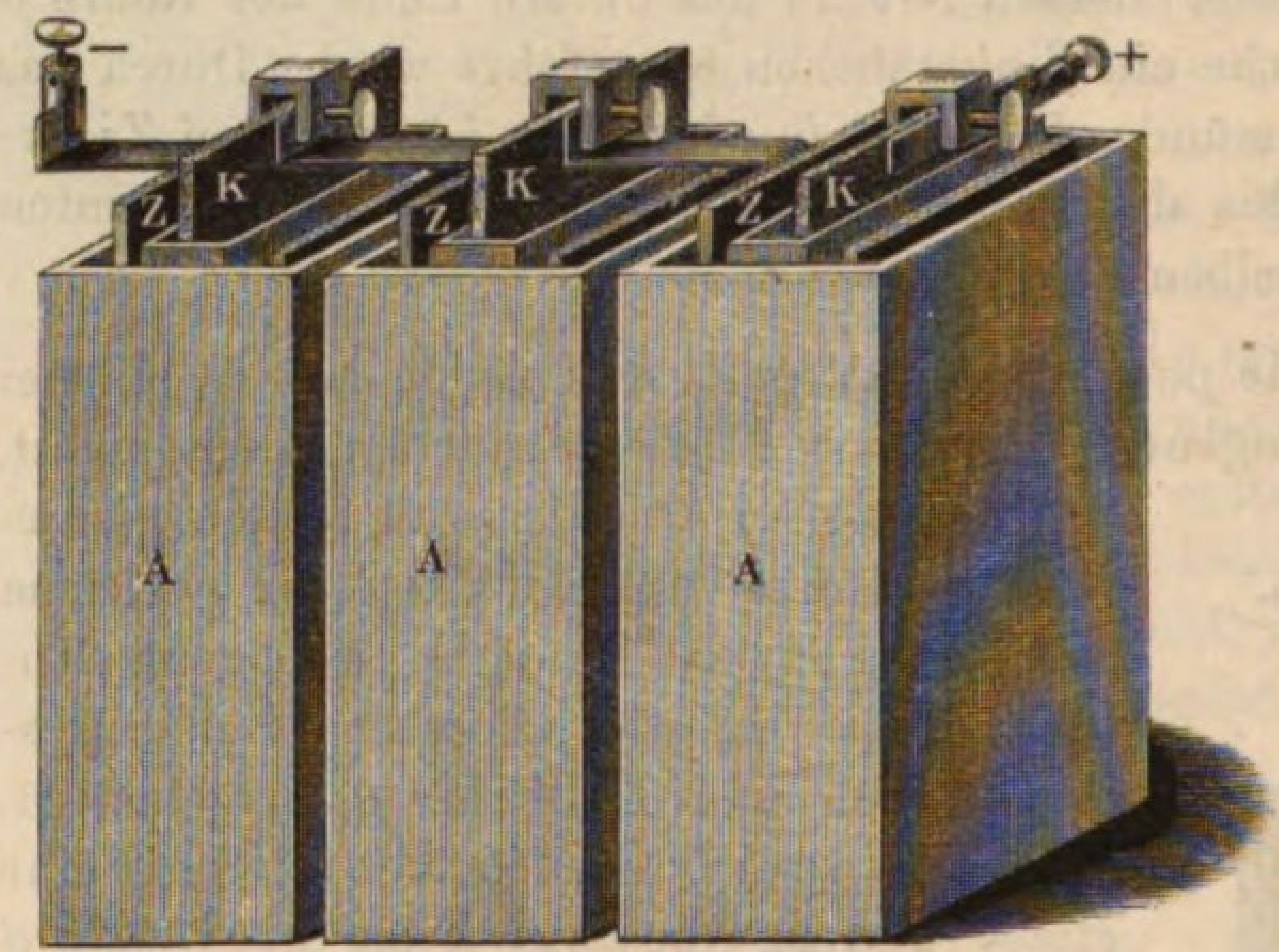
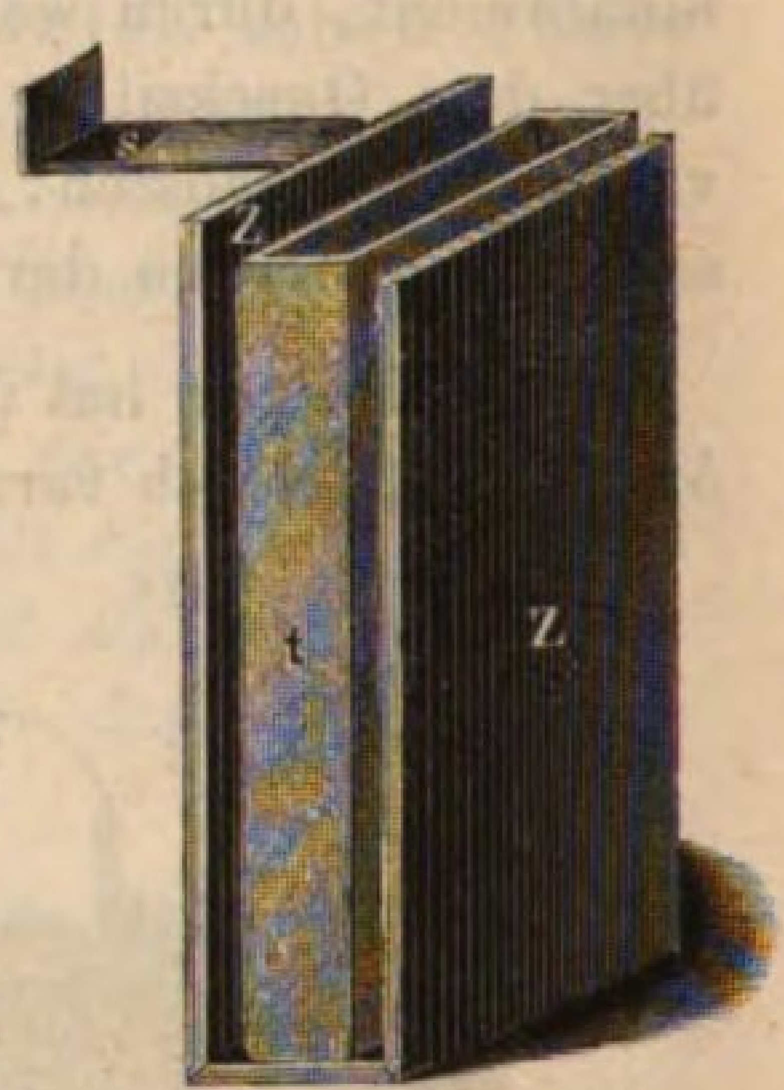


Fig. 218.



die Kohlenplatten *K* an die Stelle der Platinplatten getreten sind. Wegen der Kostbarkeit der Platinplatten werden die Grove'schen Batterien nicht in der Grösse ausgeführt wie die Zinkkohlenbatterien, deren Abbildung Fig. 217 in $^1/_6$ der natürlichen Grösse giebt.

Die rectangulären Thonzellen sind sehr schwierig anzufertigen. Man hat deshalb die Form der Grove'schen Batterie dahin abgeändert, dass man runde Thonzellen und runde Glasgefässe anwendet.

Fig. 219 stellt einen derartigen Grove'schen Becher dar. In einem runden Glasgefässe, welches verdünnte Schwefelsäure enthält, steht der hohle Zinkcylinder. Innerhalb desselben steht die poröse Thonzelle, welche mit Salpetersäure gefüllt wird und in welche das Platinblech eingetaucht ist. Das Platinblech ist, wie man aus Fig. 220 deutlicher sieht, an einem runden Brettchen befestigt, welches gleichsam den Deckel für die Thonzelle bildet. In diesem Deckel steckt ein Stückchen Kupferblech, an welchem un-

Fig. 219.

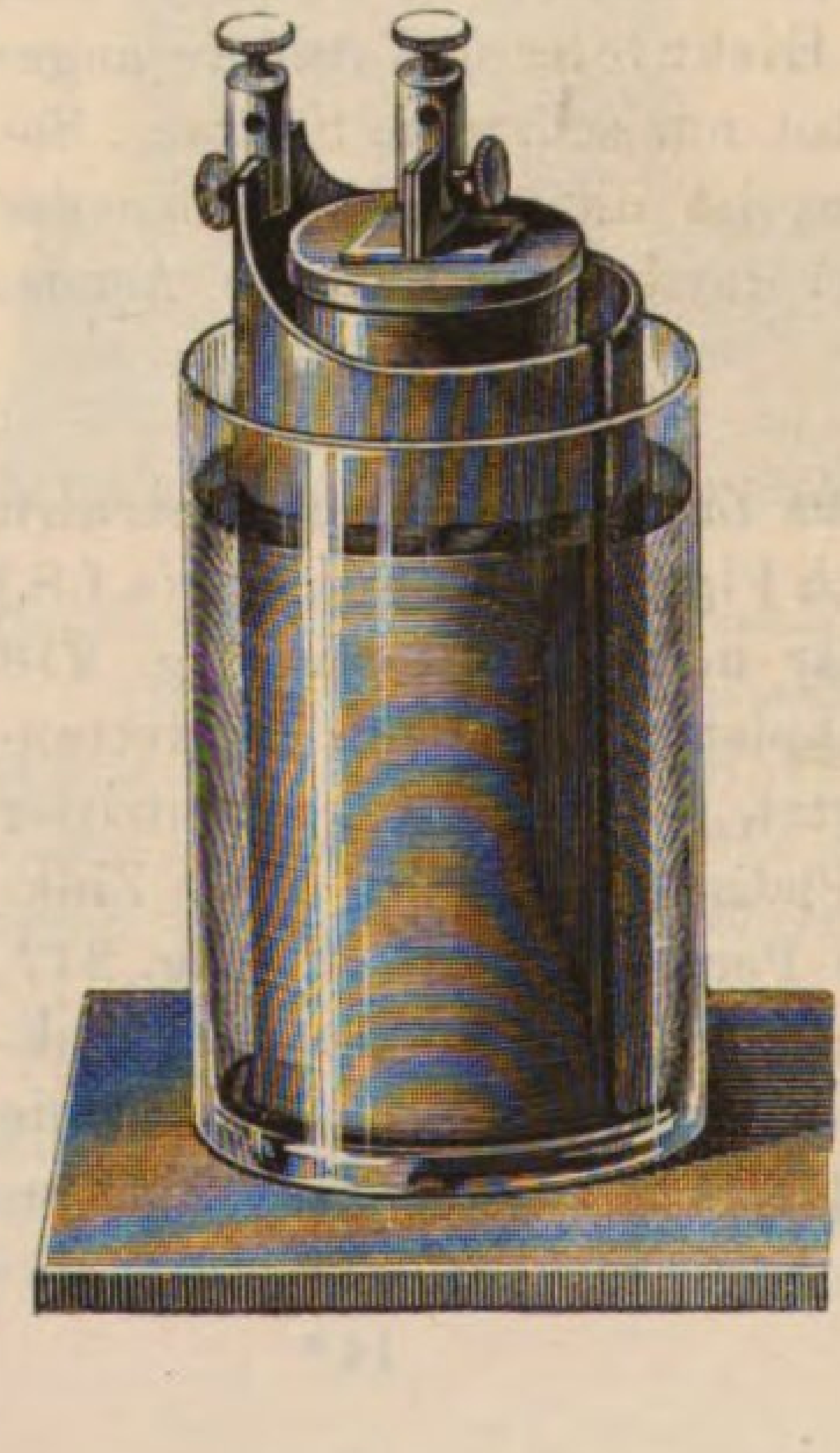
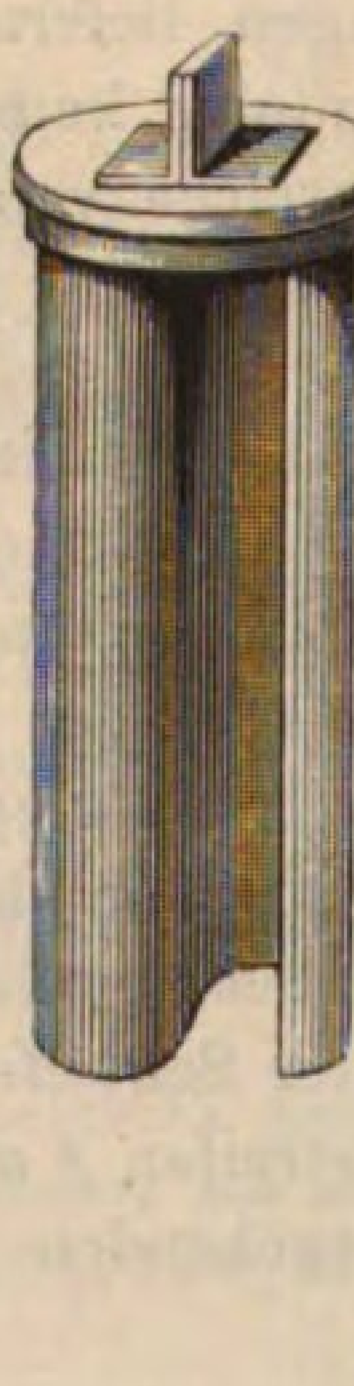


Fig. 220.

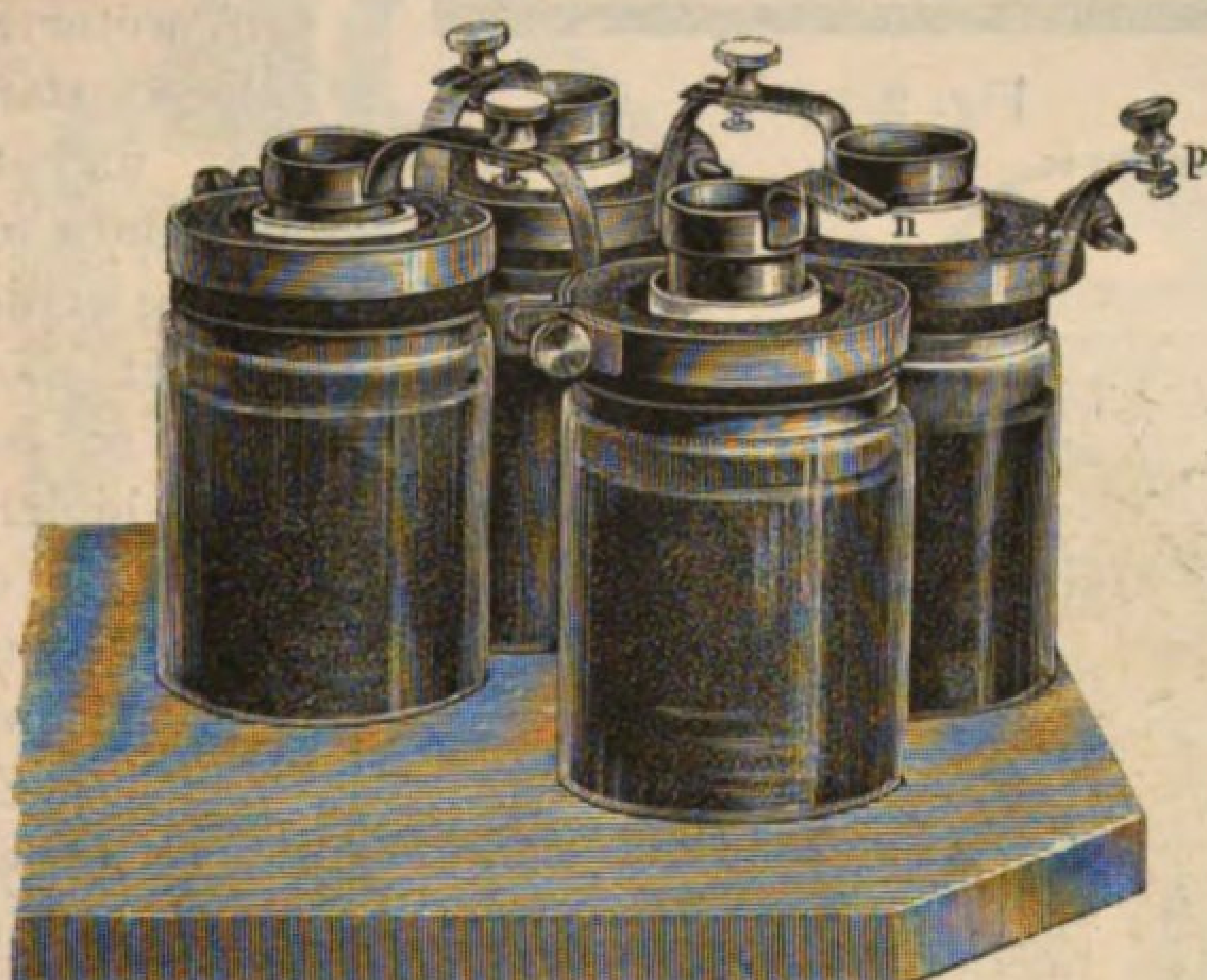


ten das Platinblech befestigt ist, während es oben eine Schraubklemme trägt. Eine ähnliche Schraubklemme ist auf dem Zinkcylinder aufgesetzt. Diese Schraubklemmen dienen zur Verbindung der einzelnen Elemente.

Die Bunsen'sche Säule. So vortrefflich auch die Wirksamkeit der Grove'schen Batterie ist, so steht ihrer allgemeineren Verbreitung doch die Kostbarkeit des Platins hindernd in dem Wege. Von grosser Bedeutung ist deshalb in der Praxis Bunsen's constante Zinkkohlenbatterie geworden, welche bei gleicher Wirksamkeit ungleich billiger ist als die Grove'sche, weshalb man sie auch in grösserem Maassstabe darstellen und in Säulen von grösserer Becherzahl zusammenstellen kann, als es für Grove'sche Elemente zulässig ist. 77

Die gewöhnliche Einrichtung der Bunsen'schen Becher ist fast ganz dieselbe wie die des in Fig. 214 abgebildeten Daniell'schen Bechers. Der Zinkcylinder steht innerhalb der porösen Thonzelle, welche verdünnte Schwefelsäure enthält; der Kohlencylinder, welcher die Thonzelle umgiebt, steht in concentrirter Salpetersäure und ist oben von einem Kupferringe umfasst, welcher einen mit einer Schraube versehenen Kupferstreifen trägt (dem Streifen *p* und der Schraube *s*, Fig. 214, entsprechend), mittelst dessen der Kohlencylinder mit dem Zink des nächsten Bechers

Fig. 221.



verbunden wird. Fig. 221 stellt eine aus vier solchen Bunsen'schen Bechern zusammengesetzte Säule dar.

Fig. 222 (a. f. S.) stellt die etwas veränderte, zur Verbindung mehrerer Elemente sehr bequeme Form dar, welche Siemens und Halske den Bunsen'schen Bechern gegeben haben. Um den oberen Rand des Kohlencylinders ist zunächst ein Bleiring und um diesen der Kupferring gelegt.

Fig. 222.

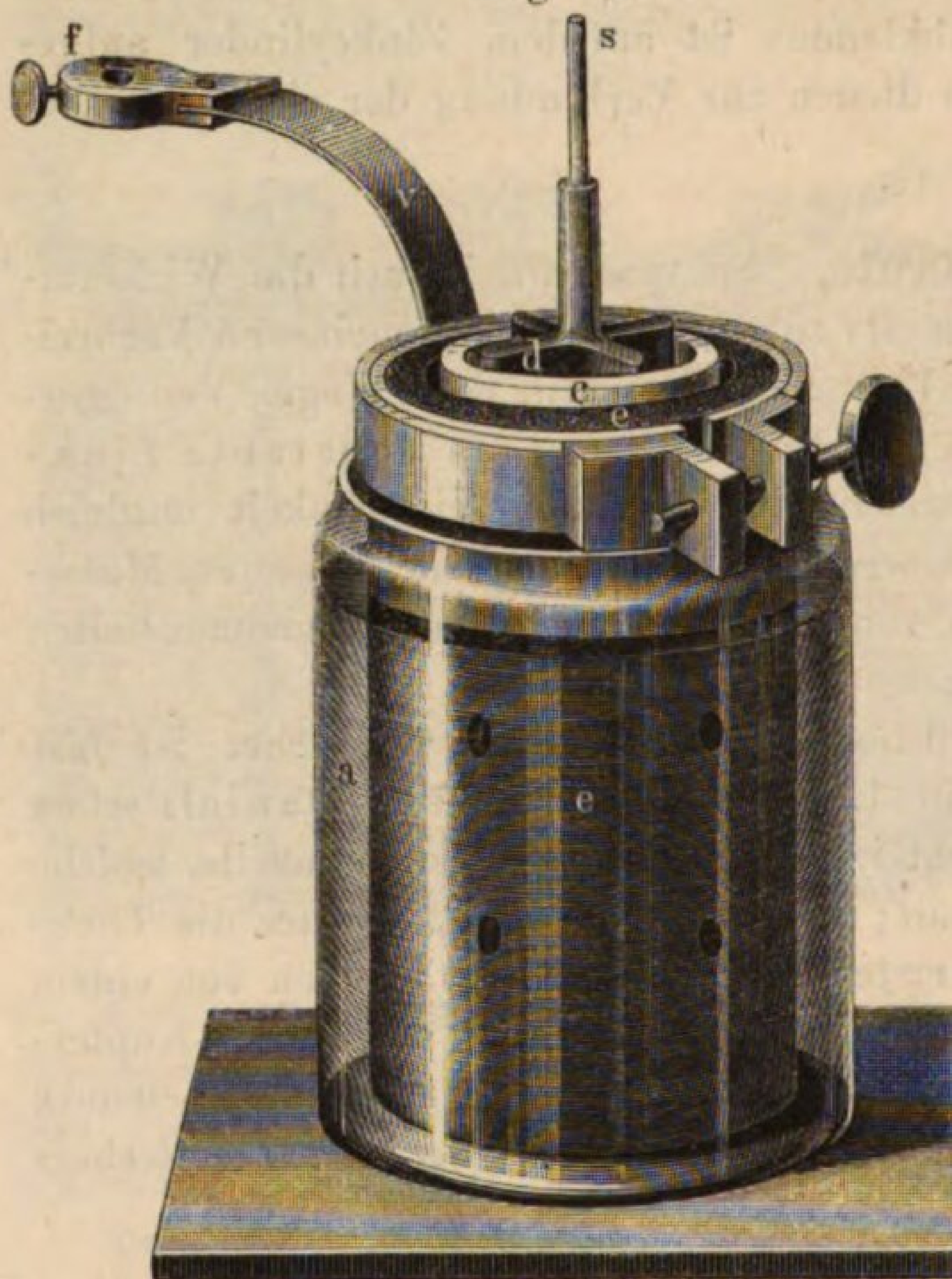
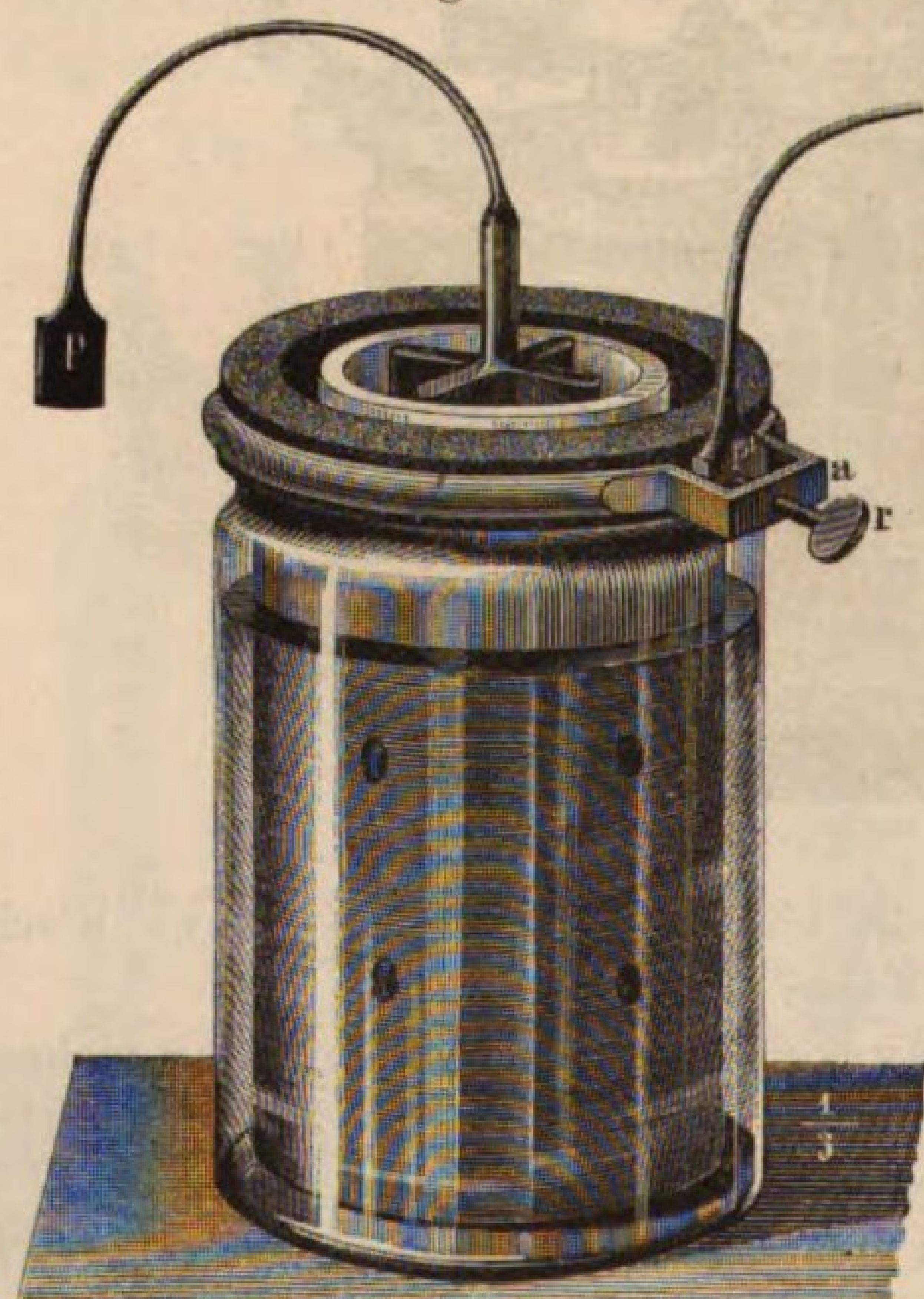


Fig. 223.



Das Anlegen und Abnehmen der Kupferringe, sowie das Reinigen derselben, welches eine lästige zeitraubende Arbeit ist, wenn man es mit einer aus vielen Bechern zusammengesetzten Säule zu thun hat, hat Stöhrer durch die in Fig. 223 dargestellte Einrichtung des Bunsen'schen Bechers vermieden.

Um den oberen Rand des Kohlencylinders ist ein starker messingener Ring gelegt, welcher einfür allemal festsitzt. Da dieser Ring durchaus nicht die Leitung des Stromes zu vermitteln hat, so kann er auch Innen, wo er an die Kohle anliegt, stark gefirnisst sein, und falls er von der Säure etwas angefressen werden sollte, so schadet das durchaus nicht, so lange er nur noch hinlänglich festsitzt. Bei *a* ist dieser Ring mit einer viereckigen Ausbiegung versehen. An jedem Zinkcylinder, welcher, wie die Figur zeigt, einen kreuzförmigen Querschnitt hat, ist ein weicher Kupferdraht befestigt, welcher mit einer etwa 1 Linie dicken Kupferplatte *p* endigt. Die Platte *p'*, welche mit dem Zink des vorhergehenden Bechers zusammenhängt, wird nun

in die viereckige Ausbiegung *a* eingesetzt und durch die Schraube *r* fest gegen die Kohle dieses Bechers angepresst.

Die Kohlencylinder der Bunsen'schen Batterie müssen aus einer dichten, festen Masse verfertigt sein. Man erhält eine solche dadurch, dass man ein Gemenge von Steinkohlen und Coaks in einem verschlossenen Tiegel glüht; die so erhaltene Masse wird mit einer concentrirten Zuckerlösung getränkt und zum zweitenmal in einem verschlossenen Tiegel geglüht, wodurch sie eine steinartige Festigkeit erlangt.

Häufig wird zur Construction der Bunsen'schen Elemente auch Gaskohle verwendet, d. h. solche Kohle, welche sich in Gasfabriken an den inneren Wänden der thönernen Retorten absetzt. Diese Kohle ist ungemein hart und fest, so dass man leicht aus ihnen rectanguläre Stäbe oder Platten sägen kann.

Bei Anwendung massiver parallelepipedischer Stäbe (etwa 18^{cm} hoch, 5^{cm} breit und $2{,}5^{cm}$ dick) oder Platten von Kohle befinden sich dieselben natürlich innerhalb der mit Salpetersäure gefüllten porösen Thonzelle, während der in verdünnter Schwefelsäure stehende Zinkcylinder die Thonzelle umgiebt.

Fig. 224 stellt einen solchen Becher dar, wie ihn Gressler und Comp. in Berlin construirt. Fig. 225 zeigt, wie die zur Herstellung der

Fig. 224.

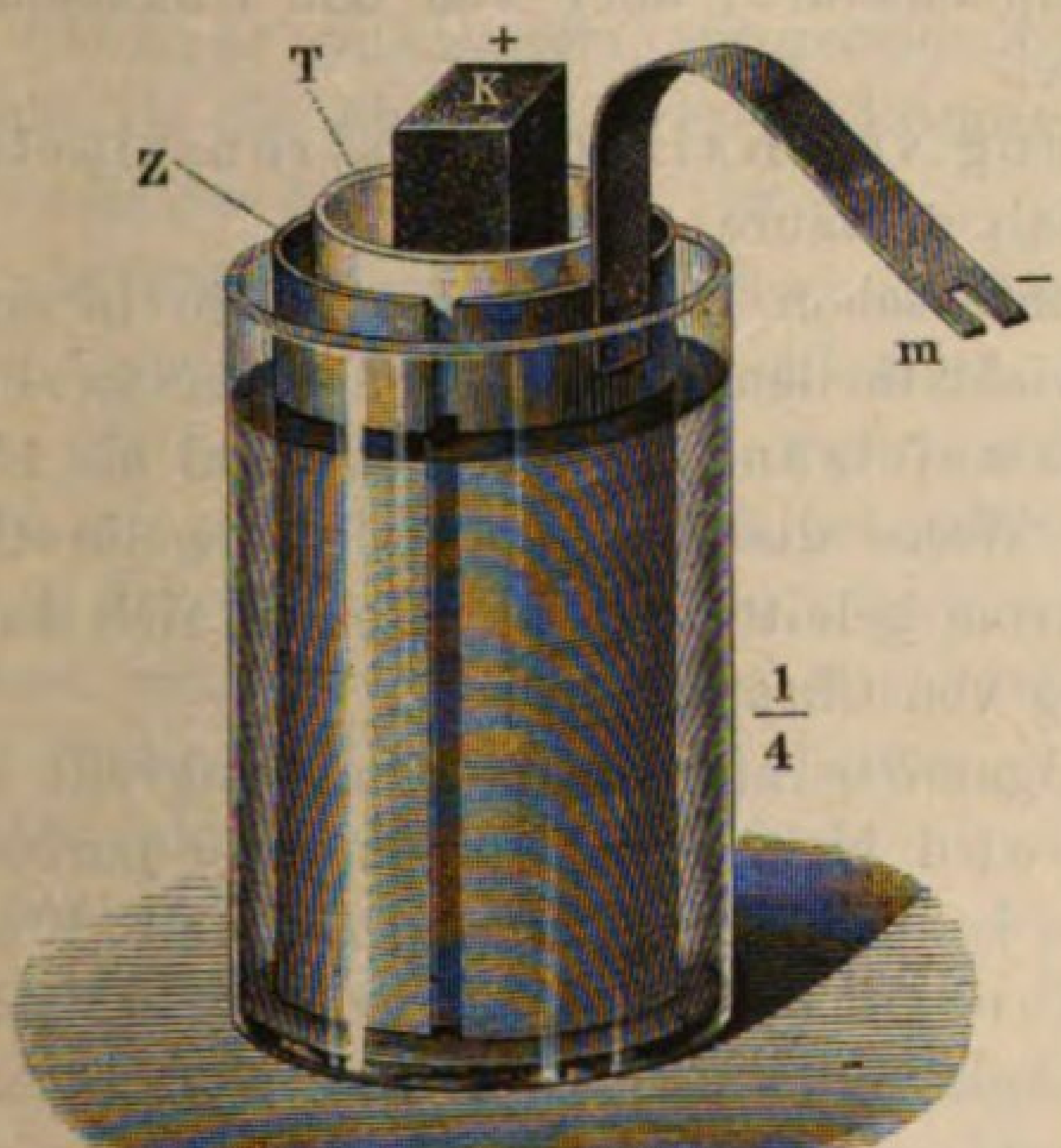
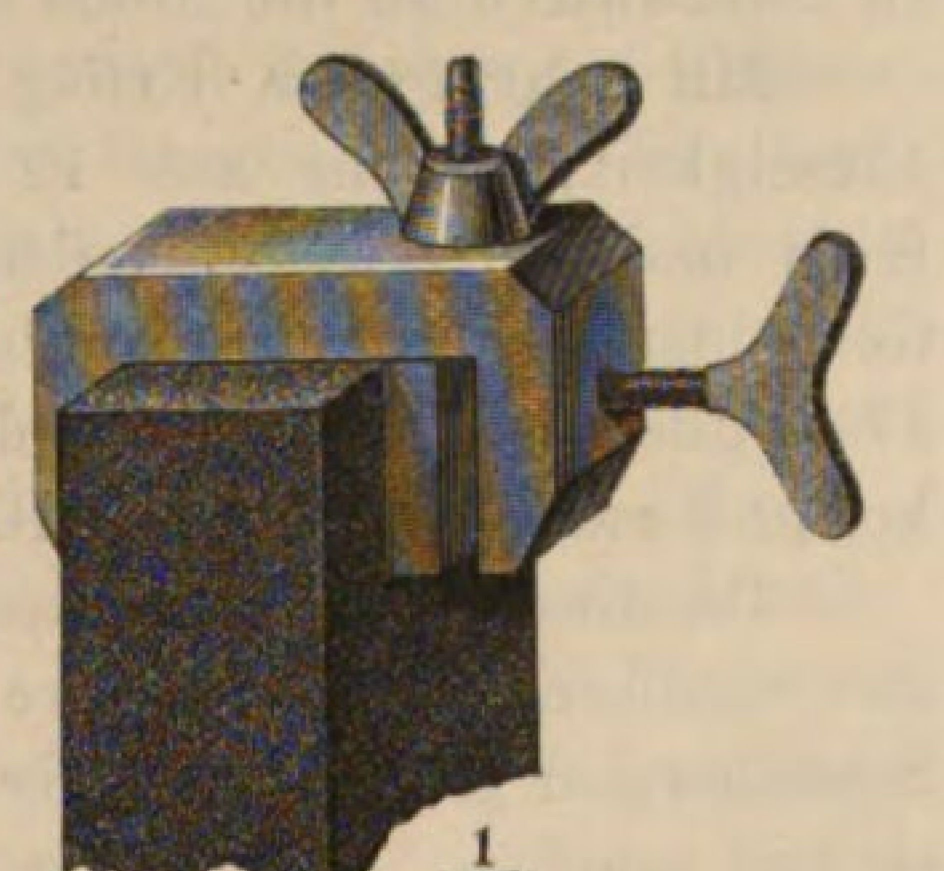


Fig. 225.

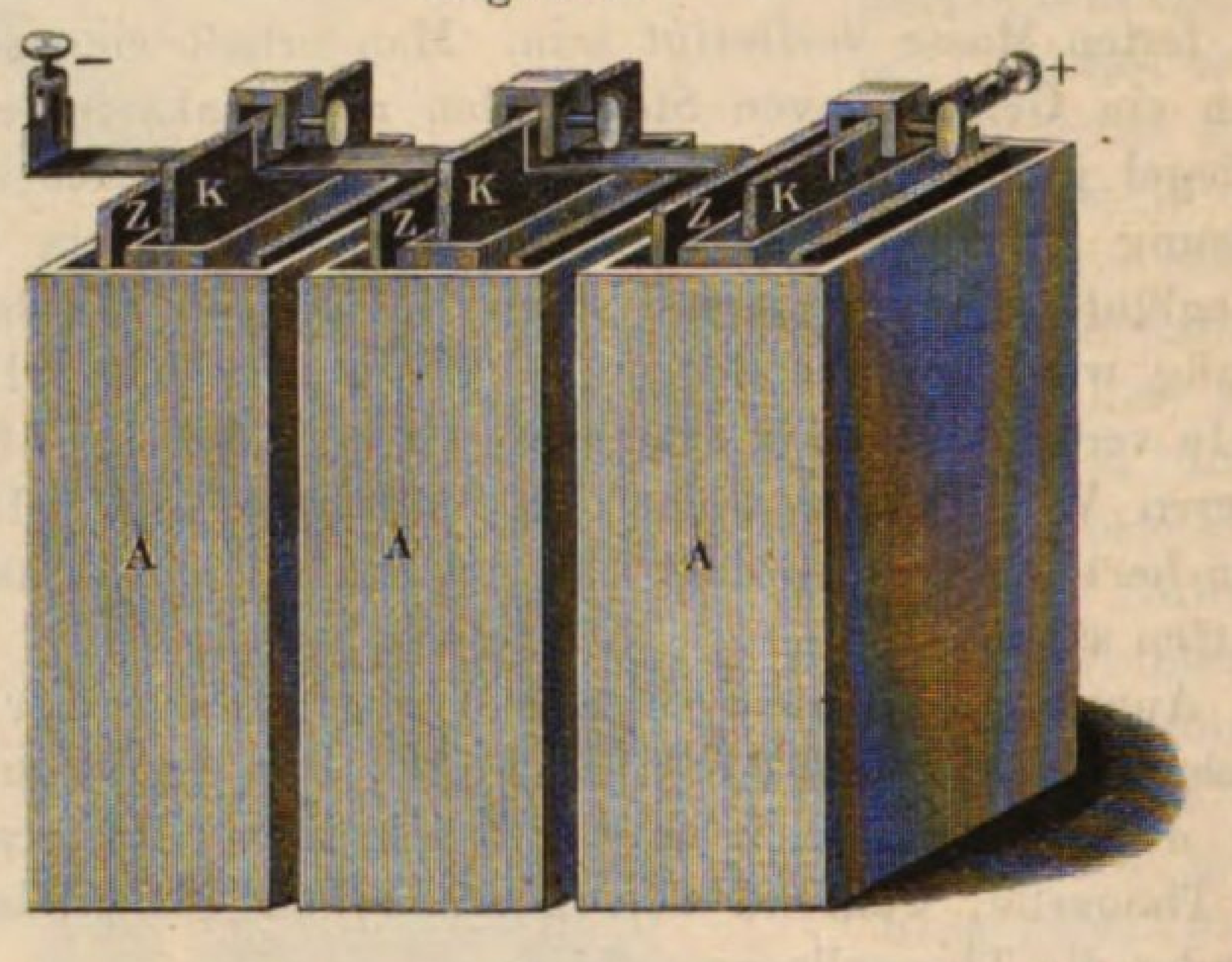


nöthigen Verbindungen dienende Messingfässung auf den Kohlenstab aufgeschraubt ist.

Fig. 226 (a.f.S.) stellt drei Elemente der Zinkkohlenbatterie dar, welche Ruhmkorff seinen grossen Inductionsapparaten beigiebt. Die Kohle ist hier in Form von Platten angewandt. Bei der grossen Oberfläche dieser Platten und der Vortrefflichkeit der in England verfertigten porösen Thonzellen ist die Wirkung dieser Batterie sehr bedeutend.

Die Unannehmlichkeiten, welche die Anwendung concentrirter Salpetersäure mit sich bringt, gab Veranlassung, dieselbe durch andere Flüs-

Fig. 226.



sigkeiten zu ersetzen. Zunächst wendet man statt der Salpetersäure ein Gemisch von 2 Raumtheilen englischer Schwefelsäure mit 1 Raumtheil käuflicher Salpetersäure an. Dieses Gemisch ist selbst noch wirksamer als die reine Salpetersäure, aber von den Unannehmlichkeiten derselben keineswegs frei.

Dering setzte eine Auflösung von Kali- oder Natronsalpeter in Salzsäure an die Stelle der Salpetersäure.

Mit sehr gutem Erfolg tauchte schon Bunsen die Kohle in eine Flüssigkeit, welche aus 12 Gewichtstheilen doppelt chromsaurem Kali und 25 Gewichtstheilen Schwefelsäurehydrat auf 100 bis 150 Gewichtstheile Wasser besteht. Wenn diese anfangs schön gelbrothe Flüssigkeit einige Zeit lang den Strom geleitet hat, so färbt sie sich dunkel und zwar in Folge der Bildung von Chromalaun.

Da diese Flüssigkeit das amalgamirte Zink nicht stärker angreift als die verdünnte Schwefelsäure, so wird hier die Anwendung der porösen Scheidewand ganz überflüssig, man kann Kohle und Zink in dieselbe Flüssigkeit tauchen. Solche Chromsäure-Batterien sind in der That sehr zu empfehlen, wo es nicht darauf ankommt, längere Zeit hindurch sehr starke Ströme zu erzeugen. Eine für den Gebrauch sehr zweckmässige Form derselben erhält man, wenn man 3 bis 4 Plattenpaare nach Art der Wollaston'schen Säule, Fig. 211 S. 208, an einem Brett vereinigt und zwar so, dass die Zinkplatte um den Kohlenstab herumgebogen ist, wie Fig. 227 andeutet. Man kann dann leicht die vereinigten Plattenpaare gleichzeitig in die Flüssigkeit eintauchen und herausnehmen.

Hipp verwendet für seine Zinkkohlenbatterien ohne Thonzelle Kohlencylinder, in deren Innerem sich eine Zinkplatte befindet, wie Fig. 228 andeutet. Zwei bis vier solcher Elemente an der unteren Seite eines

Brettes befestigt und zur Säule verbunden, können gleichzeitig in die Flüssigkeit eingetaucht und herausgenommen werden.

Fig. 227.

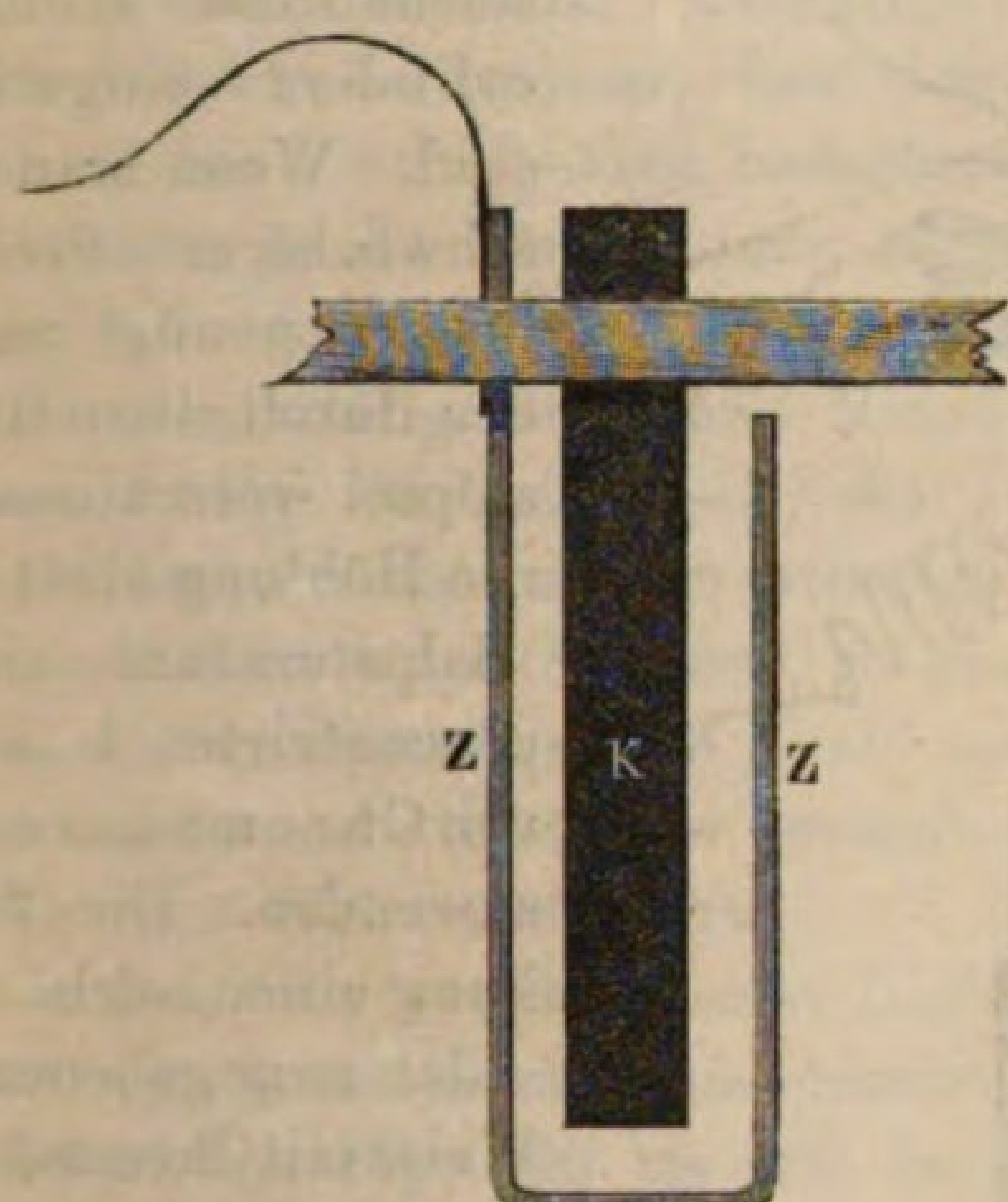
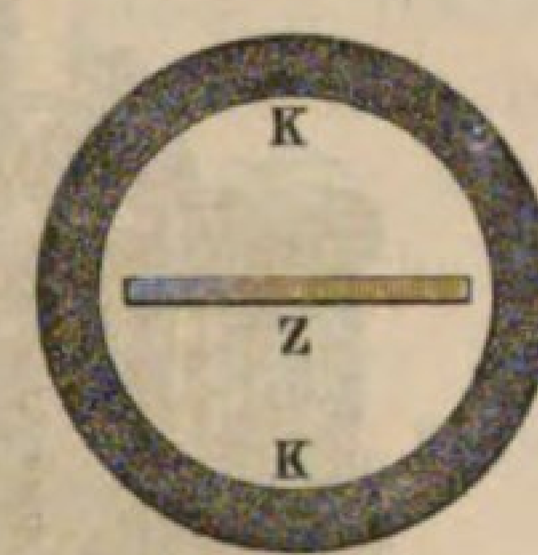


Fig. 228.



Um Platindrähte für chirurgische Operationen glühend zu machen, hat Stöhrer eine Batterie aus grossen Zink- und Kohlenplatten construirt, welche in die oben bezeichnete Lösung von Schwefelsäure und saurem chromsauren Kali getaucht werden.

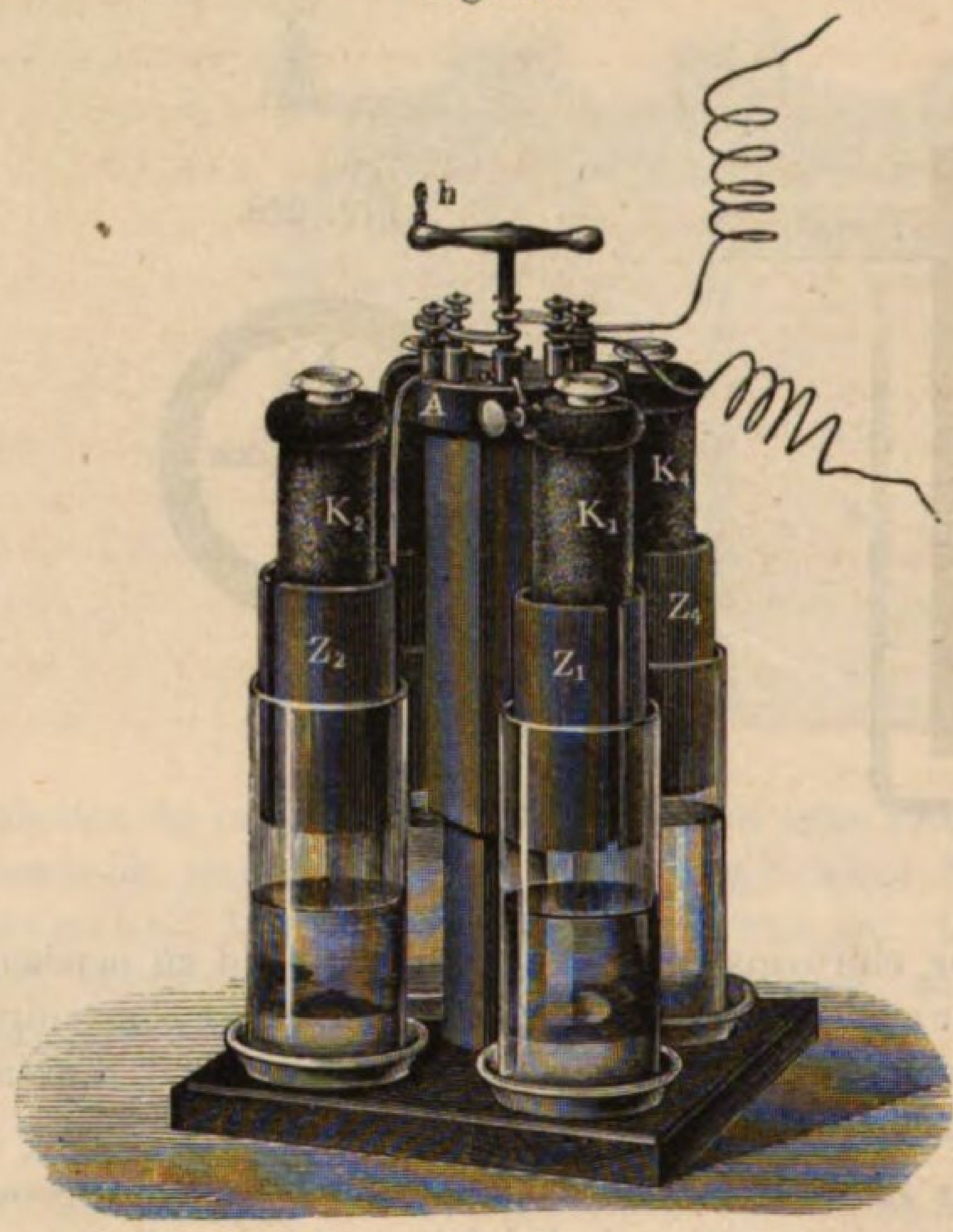
In Fällen, wo es nur schwacher Ströme bedarf, wo aber ein grosser Leitungswiderstand zu überwinden ist, wie bei telegraphischen Zwecken, kann die Lösung von saurem chromsauren Kali in verdünnter Schwefelsäure mit gutem Erfolg durch concentrirte Kochsalzlösung oder noch besser durch eine Lösung von gleichen Gewichtstheilen Kochsalz und Alaun ersetzt werden. Eine mit letzterer Flüssigkeit gefüllte Hipp'sche Zinkkohlensäule, deren Kohlencylinder 35^{cm} hoch waren, stand während 2 Jahren in einem Gasthause mit einem Läutewerk von 68 Zimmern in fortwährendem Dienst, ohne dass auch nur der Kasten aufgeschlossen worden wäre, in welchem sich die Batterie befand.

Bunsen hatte bei der ursprünglichen Form seiner Batterie gar keine porösen Thonzellen in Anwendung gebracht. In einem massiven Kohlencylinder war seiner Axe nach eine fast bis zum Boden gehende Höhlung eingebohrt, welche mit Sand gefüllt wurde; dieser Sand wurde sodann mit Salpetersäure getränkt, welche durch die Kohle durchsickernd an die äussere Wand derselben gelangte. Dieser Kohlencylinder war dann von einem Zinkblechcylinder umgeben in verdünnte Schwefelsäure eingetaucht. Die Berührung zwischen Kohle und Zink wurde durch Hanfschnüre gehindert.

Stöhrer ist auf diese Form in seiner sogenannten Zimmerbatte-

rie, Fig. 229, wieder zurückgekommen. Die Berührung zwischen Zink und Kohle wird hier durch Glasperlen gehindert, welche an verschiedenen Stellen auf der Oberfläche des Kohlencylinders eingesetzt sind. Wenn man nur schwächerer Ströme bedarf, genügt es, in der durch einen Glasstöpsel verschliessbaren Höhlung statt der Salpetersäure eine concentrirte Lösung von Chromsäure anzuwenden. Die Wirkung einer solchen in der angegebenen Weise mit Chromsäure geladenen Säule ist aber doch sehr schwach und die Chromsäure sehr theuer. In der That ist es wirksamer und billiger zur Füllung des Apparates Fig. 229 die besprochene Lösung von doppeltchromsaurem Kali in verdünnter Schwefelsäure anzuwenden.

Fig. 229.



78 **Die Zink- und Eisensäule.** Das elektronegative Metall kann auch durch Eisen ersetzt werden, wenn dasselbe in concentrirte Salpetersäure eingetaucht wird. Die Salpetersäure macht das Eisen passiv, d. h. das Eisen überzieht sich unter dem Einflusse der Salpetersäure, wie weiter unten gezeigt werden soll, mit einer stark elektronegativen Schicht, welche den weiteren Angriff der Säure hindert. Eine Säule von Zink in verdünnter Schwefelsäure und von Eisen in concentrirter Salpetersäure wirkt fast ebenso kräftig, wie eine Grove'sche oder Bunsensche. Man kann auch das Zink durch Eisen ersetzen und so eine Säule aus einem Metall construiren, dessen Platten aber abwechselnd in verdünnter Schwefelsäure und concentrirter Salpetersäure stehen.

Die Salpetersäure, welche man zu den letztgenannten Apparaten verwenden will, muss sehr concentrirt sein, weil schwächere Säure das Eisen stürmisch angreift, wobei eine bedeutende Entwickelung von Dämpfen salpetriger Säure stattfindet. Sobald dies eintritt, hört natürlich die elektromotorische Wirksamkeit des Apparates auf.

Auf die Theorie der constanten Säulen werden wir später zurückkommen.

Verschiedene Combinationen Volta'scher Becher. 79
Wir werden bald sehen, dass man zu gewissen Stromeffecten einer Säule von vielen Plattenpaaren bedarf, während zu anderen nur wenige Plattenpaare, ja nur ein einziges, aber von möglichst grosser Oberfläche, nöthig ist. Im ersteren Falle wandte man sonst die eigentliche Volta'sche Säule, Fig. 202 Seite 200, im letzteren dagegen Hare's Calorimotor, Fig. 213, oder ähnliche Apparate an. Wenn man mit constanten Rheomotoren experimentirt, also mit Daniell'schen, Bunsen'schen oder Grove'schen Bechern, so kann man nach Belieben bald eine Säule von vielen Plattenpaaren, bald eine solche von weniger Plattenpaaren, aber grösserer Oberfläche herstellen, je nachdem man die Becher auf verschiedene Weise combinirt.

Gesetzt, man habe acht Becher zur Disposition, so sind mit denselben vier verschiedene Combinationen möglich; diese vier Combinationen sind in den Fig. 230 bis 233 dargestellt.

Fig. 230.



Fig. 231.

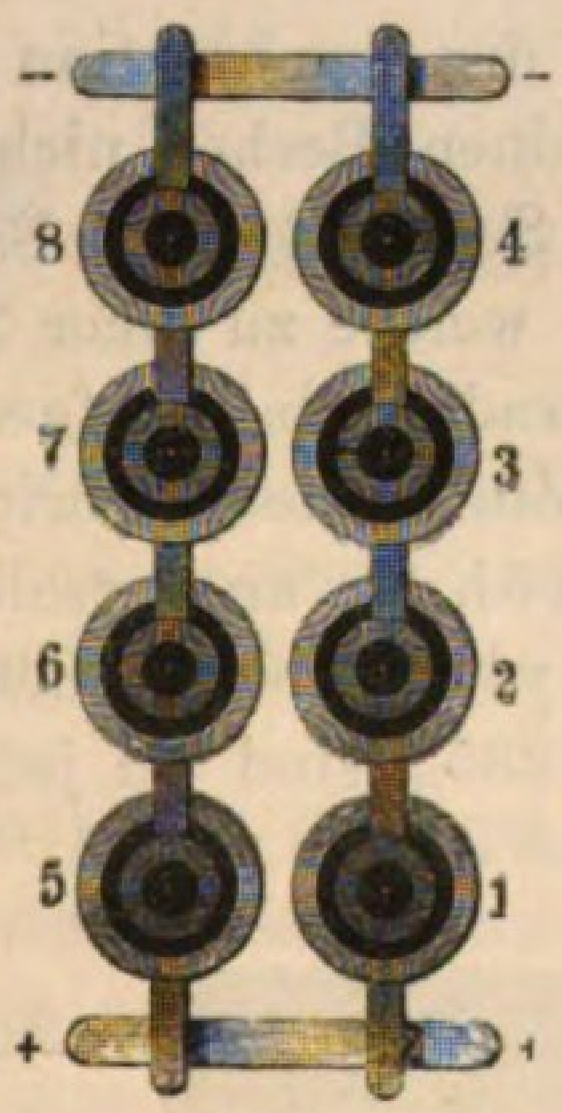


Fig. 232.

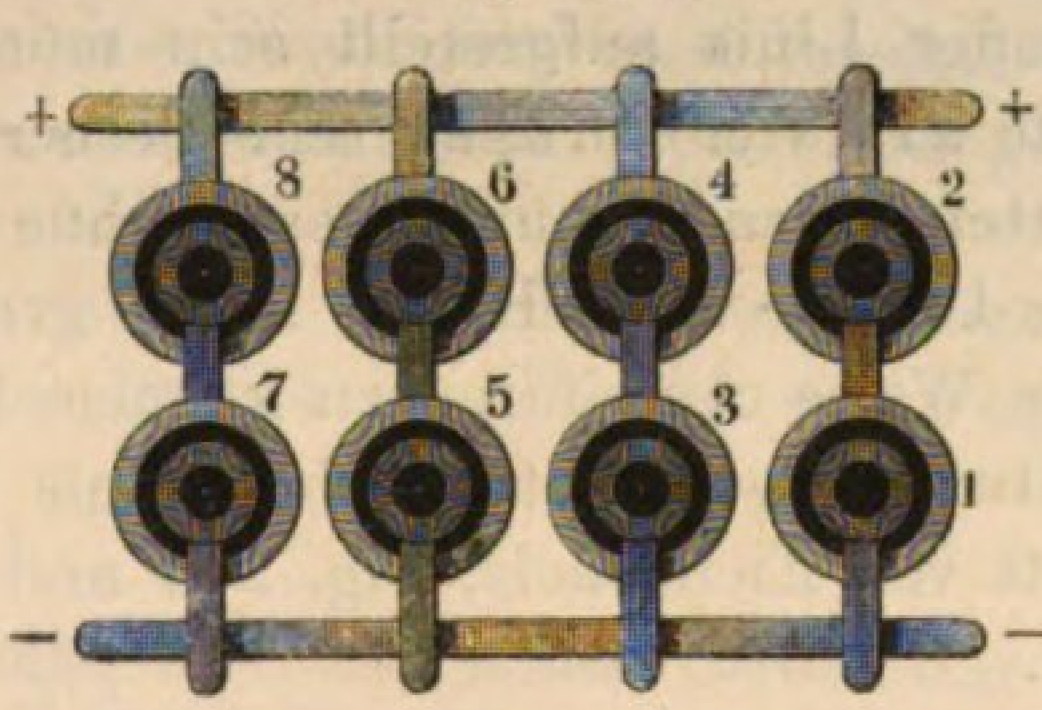


Fig. 233.

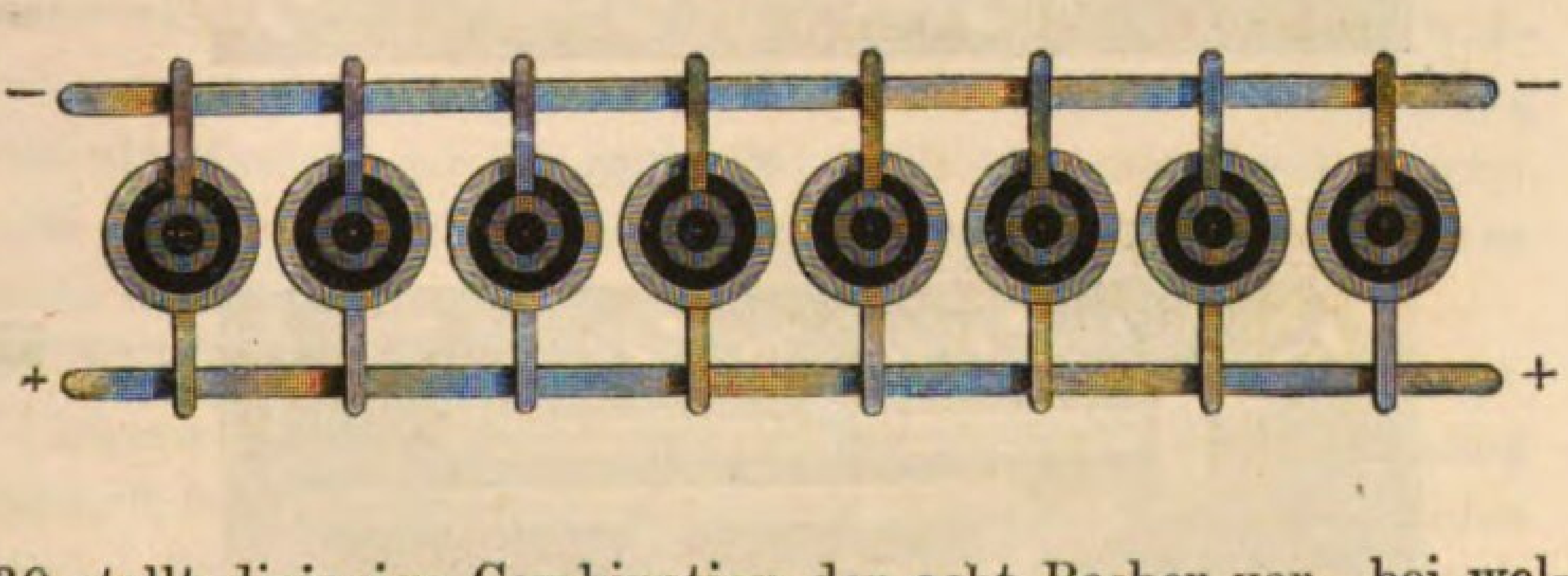


Fig. 230 stellt diejenige Combination der acht Becher vor, bei welchen sie eine Säule von acht Plattenpaaren bilden. Wenn die beiden

Pole dieser Säule in leitende Verbindung gebracht werden, so muss der Strom die acht Becher der Reihe nach durchlaufen. Bezeichnen wir mit E die freie Spannung an den Polen eines einzelnen Bechers, so ist 8 E die freie Spannung an den Polen der Säule Fig. 230.

Bei der in Fig. 231 dargestellten Conbination bilden die vier Becher 1, 2, 3 und 4 eine Säule; die vier Becher 5, 6, 7 und 8 bilden eine zweite Säule; die gleichnamigen Pole dieser beiden Säulen sind in leitende Verbindung gebracht, so dass das Ganze eine Säule von vier Plattenpaaren repräsentirt, deren jedes eine doppelt so grosse Oberfläche hat als ein Plattenpaar der Säule Fig. 230.

In Fig. 232 bilden die Becher 1 und 2 für sich eine Säule von zwei Plattenpaaren, 3 und 4 bilden eine zweite, 5 und 6 eine dritte, 7 und 8 endlich eine vierte. Die gleichnamigen Pole dieser vier Säulen sind in leitende Verbindung gebracht, so dass das Ganze eine Säule von zwei Plattenpaaren darstellt, deren Oberfläche 4mal so gross ist als die eines einzelnen Bechers.

Bei der Combination Fig. 233 endlich sind die acht Zinkcylinder unter sich in leitende Verbindung gebracht, ebenso die acht Kupfercylinder, so dass das Ganze ein einfaches Plattenpaar von 8facher Oberfläche repräsentirt.

Es versteht sich von selbst, dass bei der Combination Fig. 230 und bei der Combination Fig. 233 die einzelnen Becher nicht durchaus in gerader Linie aufgestellt sein müssen. So stellt ja z. B. Fig. 221 auf Seite 213 vier Bunsen'sche Becher dar, welche zu einer Säule von vier Plattenpaaren verbunden sind, ohne in gerader Linie aufgestellt zu sein.

Um die sechs Becher seiner grossen Zinkkohlenbatterie auf verschiedene Weise combiniren zu können, hat Stöhrer an derselben eine Vorrichtung angebracht, welche er als Pachytrop bezeichnet. Auf einem Brett von Eichenholz, Fig. 234 und Fig. 235, sind an jeder Längsseite

Fig. 234.

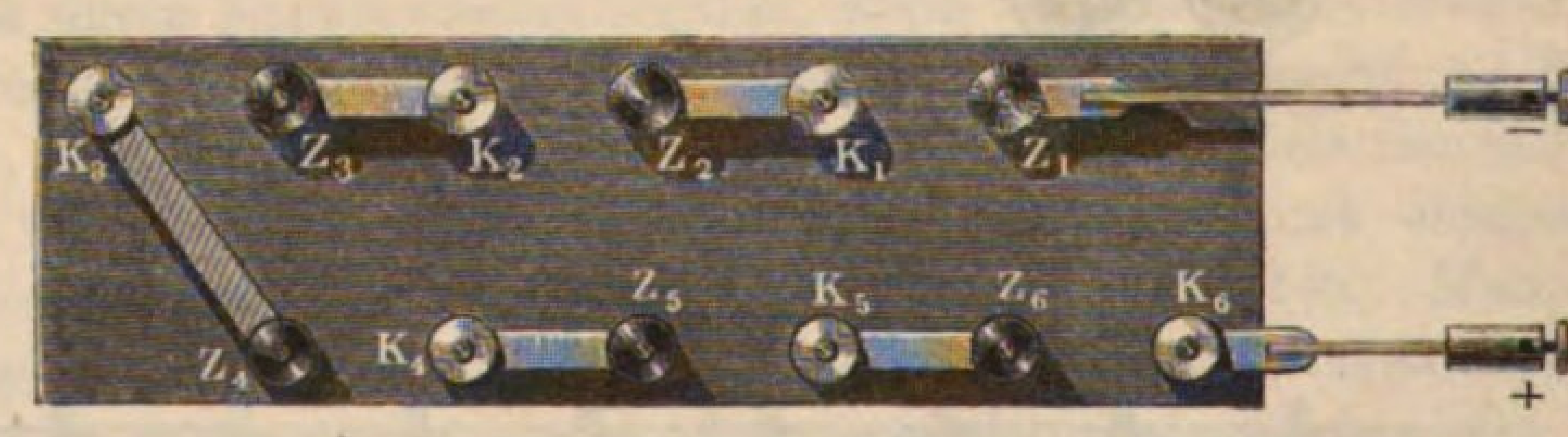
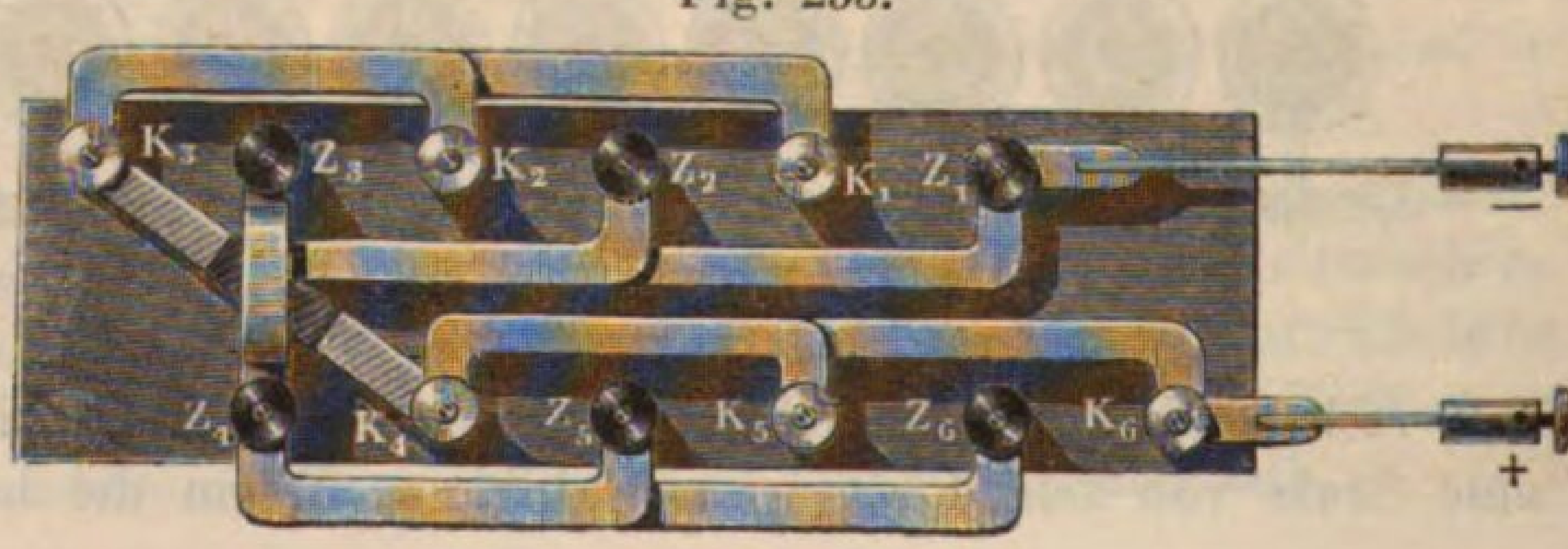


Fig. 235.



sechs Messingsäulchen von der in Fig. 236 dargestellten Einrichtung eingeschraubt. Auf jeder Seite des Brettes stehen drei Zinkkohlenbecher. Von jedem Kohlencylinder sowohl wie von jedem Zinkstern führt ein Kupferdraht zu dem entsprechenden Messingsäulchen, um in demselben mittelst der Schraube *t* festgeklemmt zu werden. So ist das Zink des ersten, zweiten ... sechsten Bechers mit dem Messingsäulchen $Z_1, Z_2 \ldots Z_6$ in leitender Verbindung; die Kohlencylinder des ersten, zweiten ... sechsten Bechers dagegen sind mit den Messingsäulchen $K_1, K_2 \ldots K_6$ verbunden.

Um nun die Messingsäulchen in verschiedener Weise mit einander verbinden zu können, dienen Streifen von Kupferblech von der Form Fig. 237 oder Fig. 238, welche zwischen das Säulchen *s* und die Schraubenmutter *m* Fig. 236 eingeklemmt werden.

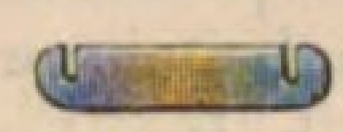
Fig. 236.



Fig. 237.



Fig. 238.



Bei der Verbindung Fig. 234 sind die Becher so verbunden, dass sie eine Säule von sechs Elementen bilden, bei der Combination Fig. 235 sind dagegen alle sechs Becher zu einem einzigen Plattenpaare verbunden. Durch entsprechende Abänderung der Verbindung kann man auch leicht eine Säule von zwei dreifachen oder eine solche von drei Doppelbechern herstellen.

Eine sehr zweckmässige und übersichtliche Vorrichtung zu beliebiger Combination constanter Elemente hat Bothe im CIX. Bd. von Poggendorff's Annal. beschrieben.

Das Ohm'sche Gesetz. Damit ein elektrischer Strom durch 80
einen Leiter hindurchgehen könne, ist es durchaus nöthig, dass die Elektricität an verschiedenen Stellen des Leiters eine ungleiche Spannung habe. Berührt man z. B. den Conductor einer Elektrisirmaschine mit einem Drahte, so strömt die Elektricität nur deshalb durch denselben ab, weil die starke Spannung der Elektricität auf dem Conductor dieselbe durch den Draht hindurchtreibt, weil also an dem einen Ende des Drahtes, da nämlich, wo er den Conductor berührt, eine stärkere Anhäufung von Elektricität stattfindet, als am anderen; verbände man zwei gleiche, gleich stark mit derselben Elektricität geladene Conductoren durch einen Draht, so könnte kein Strom entstehen.

Wenn die Volta'sche Säule isolirt ist, so befinden sich die entgegengesetzten Elektricitäten an den Polen in dem Zustande der Spannung und dieser Zustand kann unmöglich ganz verschwinden, wenn die beiden Pole durch einen Leiter verbunden werden, denn es könnte keine positive Elektricität von dem positiven Pole abströmen, wenn hier nicht eine grös-

sere Anhäufung dieser Elektricität stattfände; es ist eine gewisse Spannung der Elektricität, gleichsam ein gewisser Druck nöthig, damit eine Bewegung entstehe, damit die Leitungswiderstände in dem Leiter überwunden werden, durch welchen der Strom hindurchgehen soll.

Nach dem von Ohm zuerst aufgestellten und nach ihm genannten Gesetze ist nun die Quantität der Elektricität, welche die geschlossene Kette durchströmt (oder mit anderen Worten, die Stromstärke), der elektromotorischen Kraft, d. h. der elektrischen Spannung, proportional, welche den Strom in Bewegung setzt. Die elektromotorische Kraft der Säule wächst aber im gleichen Verhältniss wie die Spannung freier Elektricität an den Polen der isolirten (d. h. der nicht geschlossenen) Säule.

Ferner ist die Stromstärke bedingt durch die Grösse des Widerstandes, welchen der Strom auf seinem ganzen Wege zu überwinden hat, und zwar ist sie diesem Widerstande umgekehrt proportional, es ist also

$$S = \frac{E}{L} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

wenn wir mit S die Stromstärke, mit E die elektromotorische Kraft der Säule und mit L den gesammten Leitungswiderstand bezeichnen.

Der Gesammtleitungswiderstand L zerfällt aber in zwei wohl zu unterscheidende Theile, nämlich: 1. den Widerstand im Schliessungsbogen, d. h. den Widerstand in dem Leiter, welcher zur Verbindung der beiden Pole dient und welcher nach Belieben grösser oder kleiner gemacht werden kann, und 2. den Widerstand innerhalb der Säule selbst, welchen wir den wesentlichen Widerstand nennen wollen und welcher vorzugsweise von den Flüssigkeitsschichten herrührt, die der Strom durchlaufen muss, um in jedem einzelnen Elemente von einer Metallplatte zur gegenüberstehenden zu gelangen.

Untersuchen wir nun, wie die Stromstärke von der Vermehrung der zur Säule verbundenen Plattenpaare und wie sie von der Vergrösserung der Plattenpaare abhängt. Die Stromstärke s, welche ein einzelnes Element liefert, ist

$$s = \frac{e}{\lambda + l},$$

wenn e die elektromotorische Kraft, λ den wesentlichen Leitungswiderstand des Elementes und l den Leitungswiderstand im Schliessungsbogen bezeichnet.

Hätte man n solcher Elemente zur Säule vereinigt, so würde die elektromotorische Kraft derselben ne, der wesentliche Widerstand derselben aber $n\lambda$ geworden sein, bei unverändertem Schliessungsbogen wäre demnach die Stromstärke der Säule

$$S = \frac{ne}{n\lambda + l} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

Der Einfluss, welchen die Vermehrung der Plattenpaare, also die Vergrösserung von n auf die Stromstärke ausübt, hängt nun sehr von der Grösse des Widerstandes l im Schliessungsbogen ab. Wir wollen hier nur die extremen Fälle betrachten.

Wenn der Schliessungsbogen nur durch ganz kurze, dicke und gutleitende Metalldrähte gebildet wird, so ist l sehr klein. Für den Fall, dass l verschwindend klein ist im Vergleich zum wesentlichen Widerstand λ, reducirt sich aber Gleichung 2) auf

$$S_1 = \frac{ne}{n\lambda} = \frac{e}{\lambda},$$

d. h. die Stromstärke, welche eine Säule von n Plattenpaaren liefert, ist nicht grösser als die eines einzigen Plattenpaares. Wenn also der Widerstand im Schliessungsbogen klein ist im Vergleich zu dem Leitungswiderstand eines einzelnen Elementes, so gewährt die Vermehrung der zur Säule combinirten Plattenpaare keinen Vortheil.

Ist dagegen der Widerstand l bedeutend, so wächst der Werth des Bruches 2) mit der Grösse von n; für den Gränzfall, dass l gross genug ist, um dagegen $n\lambda$ vernachlässigen zu können, geht der Werth von S über in

$$S_2 = \frac{ne}{l};$$

die Stromstärke ist also hier der Anzahl n der Plattenpaare proportional, welche zur Säule verbunden sind. Sobald also der Leitungswiderstand im Schliessungsbogen bedeutend ist, wird durch Vermehrung der zur Säule combinirten Plattenpaare eine Vergrösserung der Stromstärke erzielt.

Betrachten wir nun den Einfluss, welchen die Vergrösserung der Oberfläche eines einfachen Plattenpaares hat. Die Stromstärke für ein einziges Plattenpaar wurde oben mit $s = \frac{e}{\lambda + l}$ bezeichnet; wenn nun die Oberfläche des Volta'schen Elementes n mal so gross würde, ohne dass sonst etwas geändert wird, so hätte dies doch nur zur Folge, den Leitungswiderstand zwischen den Platten selbst n mal kleiner zu machen, weil ja der Querschnitt der Flüssigkeit, durch welche der Strom hindurchgehen muss, n mal grösser geworden ist; statt des Widerstandes λ hätte man also jetzt $\frac{\lambda}{n}$, die Stromstärke wird also sein

$$S' = \frac{e}{\frac{\lambda}{n} + l},$$

oder was dasselbe ist,

$$S' = \frac{ne}{\lambda + nl}.$$

Wäre l, d. h. der Leitungswiderstand im Schliessungsbogen, gleich Null, so wäre die Stromstärke der Oberfläche des elektromotorischen Elementes proportional; dies ist auch noch sehr nahe der Fall, wenn l nur sehr klein ist; eine Vergrösserung der Oberfläche bringt also dann eine Vermehrung der Stromstärke hervor, wenn der Leitungswiderstand im Schliessungsbogen klein ist gegen den wesentlichen Widerstand im Rheomotor.

Das Ohm'sche Gesetz war schon im Jahre 1827 publicirt worden (Die galvanische Kette, mathematisch behandelt von Dr. G. S. Ohm, Berlin 1827); es fand jedoch erst viel später die allgemeine Würdigung, die es verdient; im Auslande wurde es erst sehr spät bekannt, und noch hat man namentlich in England nicht allgemein die hohe Bedeutung anerkannt, welche dieses Gesetz für die Elektricitätslehre hat. Das Ohm'sche Gesetz bietet uns fast überall den einzig sicheren Anhaltspunkt zur Lösung der schwierigsten galvanischen Fragen, und die Missachtung desselben, die wir noch bei manchen über Elektricität schreibenden Autoren Englands finden, rächt sich in ihren Schriften durch eine oft gränzenlose Verwirrung in Dingen, welche durch das Ohm'sche Gesetz schon längst die befriedigendste Lösung erfahren haben.

Auch Pouillet macht Anspruch auf die Entdeckung des Gesetzes der Stromstärke, welches er auf experimentellem Wege aufgefunden, während Ohm seine Resultate aus theoretischen Betrachtungen abgeleitet hat. Wenn man auch zugiebt, was sehr leicht möglich ist, dass beide Gelehrte ganz unabhängig von einander und auf ganz verschiedenen Wegen dasselbe Gesetz fanden, so muss man doch unbedingt Ohm die Priorität zugestehen, indem die Publication seines Werkes älter ist, als die der Pouillet'schen Versuche.

Was die experimentelle Bestätigung des Ohm'schen Gesetzes betrifft, so hatte man anfänglich mit grossen Schwierigkeiten zu kämpfen, indem es einestheils an bequemen und sicheren Mitteln zur Messung der Stromstärke, andererseits auch an Rheomotoren fehlte, welche hinlänglich kräftige und doch constante Ströme zu liefern im Stande waren. Wir übergehen deshalb auch die älteren Versuche und wenden uns gleich zu den experimentellen Belegen, wie man sie mit vollkommenen Hülfsmitteln erhält.

Die Stärke eines galvanischen Stromes kann man nur aus seinen Effecten beurtheilen, wir müssen deshalb zunächst zusehen, wie man verschiedene Stromwirkungen zur Messung der Stromstärke anwenden kann.

81 **Das Voltameter.** Wenn man an den beiden Polen einer Volta'schen Säule, etwa einer aus sechs Bunsen'schen Bechern zusammengesetzten, Kupferdrähte befestigt, welche mit Platinplatten von 1 bis 4 Quadratcentimeter Oberfläche endigen und diese Polplatten, ohne dass sie mit einander in Berührung kommen, in ein Gefäss mit gesäuertem Wasser taucht (ungefähr 1 Theil Schwefelsäure auf 10 Theile Wasser), so findet

alsbald eine lebhafte Gasentwickelung an den Platinplatten statt. An der einen steigt Sauerstoffgas, an der anderen steigt Wasserstoffgas in die Höhe. Ohne die Gesetze der chemischen Wirkungen des Stromes jetzt schon näher zu erörtern, können wir doch nach Faraday's Vorgang die durch den elektrischen Strom bewirkte Wasserzersetzung als ein Maass für die Stromstärke benutzen.

Um durch die Wasserzersetzung die Stromstärke zu messen, ist es nicht nöthig, das über jeder Polplatte aufsteigende Gas für sich aufzufangen, es genügt, die gemischten Gase zu sammeln.

Fig. 239 stellt einen Apparat dar, wie man ihn zur Wasserzersetzung anwenden kann, wenn man die entwickelten Gase gemischt auffangen will. Das Glasgefäss wird mit Wasser gefüllt, dem etwas Schwefelsäure zugesetzt ist. Durch den Kork, welcher das Gefäss schliesst, gehen zwei Kupferdrähte luftdicht hindurch, an welchen unten zwei Platinplatten angelöthet sind, die sich im Wasser in einiger Entfernung gegenüberstehen. Der Theil der Kupferdrähte, welcher sich innerhalb des Gefässes befindet, so wie die Löthstellen, müssen durch einen Siegellacküberzug vor der Berührung mit der sauren Flüssigkeit geschützt sein.

Bringt man die aus dem Korke hervorragenden Enden der Kupferdrähte durch Zuleitungsdrähte mit den Polen der Säule in Verbindung, so geht der Strom durch das Wasser, die gebildeten Gase steigen auf und entweichen durch das gekrümmte Rohr, welches im Korke steckt.

Der Korkstopfen dieses Apparates kann durch einen in den Hals des Gefässes eingeschliffenen Glasstöpsel, Fig. 240, ersetzt werden, in welchem

Fig. 240.

Fig. 239.

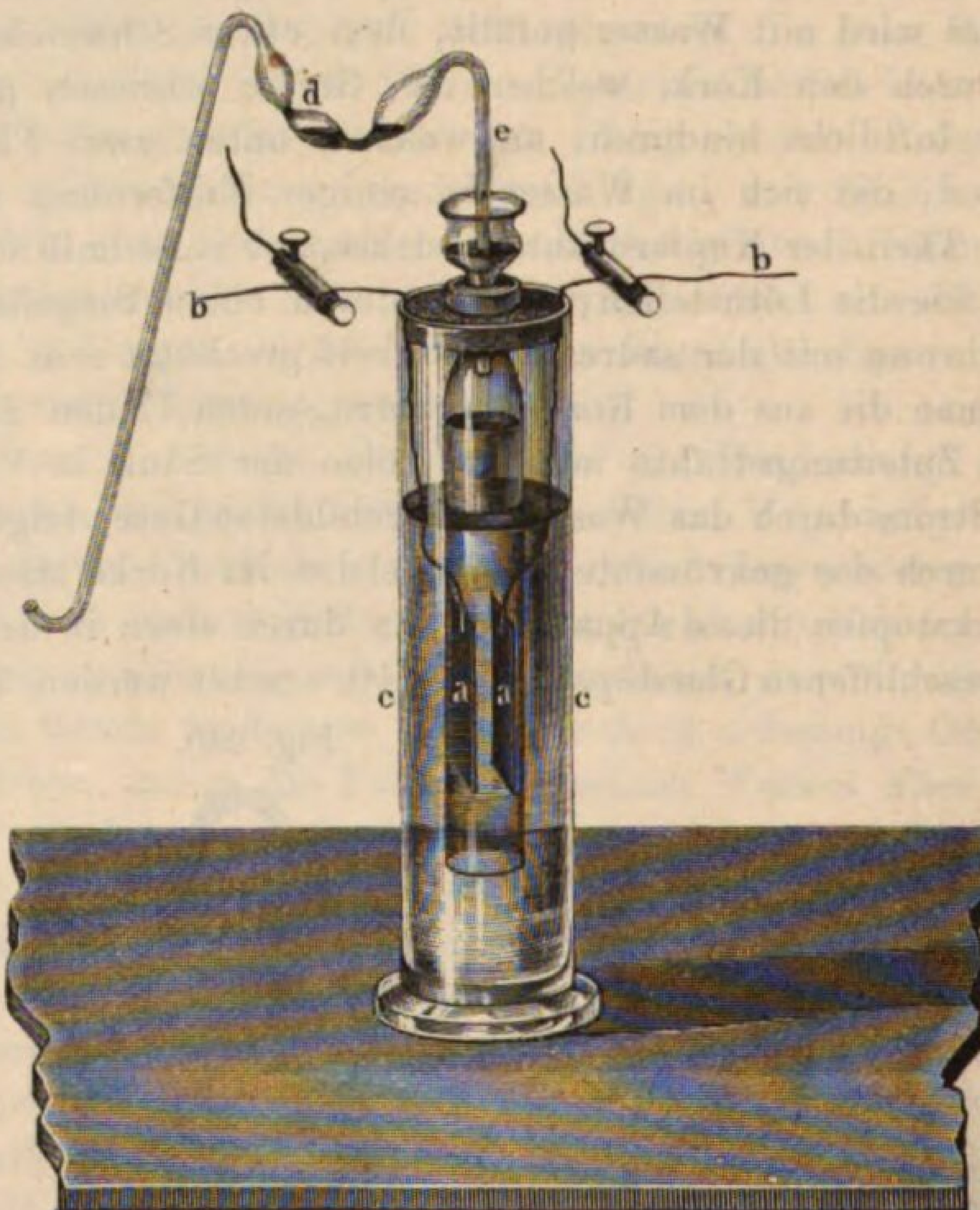




drei Oeffnungen eingebohrt sind. In die beiden seitlichen Oeffnungen sind die Zuleitungsdrähte, in die mittlere ist das Glasrohr eingekittet.

Zur Entwickelung reinen elektrolytischen Knallgases wendet Bunsen den Zersetzungsapparat Fig. 241 an. Das unten geschlossene Glasgefäss, in welchem sich die Platinplatten *a* befinden, ist in ein weiteres etwa mit Weingeist gefülltes Gefäss *c* eingesetzt, dessen Zweck darin besteht, eine allzustarke Erhitzung der Zersetzungsflüssigkeit und der Zuleitungsdrähte zu verhindern. Die aus Platindraht gebildeten Zuleitungsdrähte der Platinplatten *a* sind in der Wand des Zersetzungsgefässes eingeschmolzen. In den oben sich wieder trichterförmig erweiternden Hals des Zersetzungsgefässes ist das Glasrohr *e* eingeschliffen, zum besseren

Fig. 241.



Schluss aber ist etwas Quecksilber in den Trichter gegossen. Bei *d* sind in dem Ableitungsrohr drei Erweiterungen angebracht, welche etwas Schwefelsäure zum Waschen des Gases enthalten.

Um die Gase aufzufangen, welche durch das gekrümmte Rohr entweichen, muss man das untere Ende desselben in ein Gefäss mit Wasser tauchen, und dann über die Mündung des gekrümmten Rohres eine mit Wasser gefüllte graduirte Röhre bringen. Die entweichenden Gase steigen als Blasen in den oberen Theil des Rohres, und das Volumen des in einer gegebenen Zeit hier gesammelten Gases kann leicht an der Theilung der Röhre abgelesen werden.

Um die graduirte Röhre festzuhalten, kann man sich der in Fig. 242 dargestellten Vorrichtung bedienen. Auf den Boden des Gefässes ist ein Kork aufgekittet, welcher mit einem Einschnitt zur Aufnahme des Rohres versehen ist, durch welches das Gas ausströmt. In Fig. 243 ist dieser Kork, auf welchen das graduirte Rohr aufgesteckt wird, in natürlicher Grösse dargestellt.

Faraday nannte solche Apparate, welche zur Messung der Stromstärke mittelst Wasserzersetzung dienen, „Voltameter". Wir wollen diesen Namen beibehalten.

Fig. 244 stellt eine sehr bequeme Form des Voltameters dar, wie dasselbe in den Werkstätten der Société pour la construction d'instruments de physique zu Genf ausgeführt wird. Das graduirte Rohr *g*, welches das von der einen, mit der Klemmschraube *a* verbundenen Polplatte aufsteigende Gas auffängt, ist mittelst eines Kautschukpfropfens in

Fig. 242.

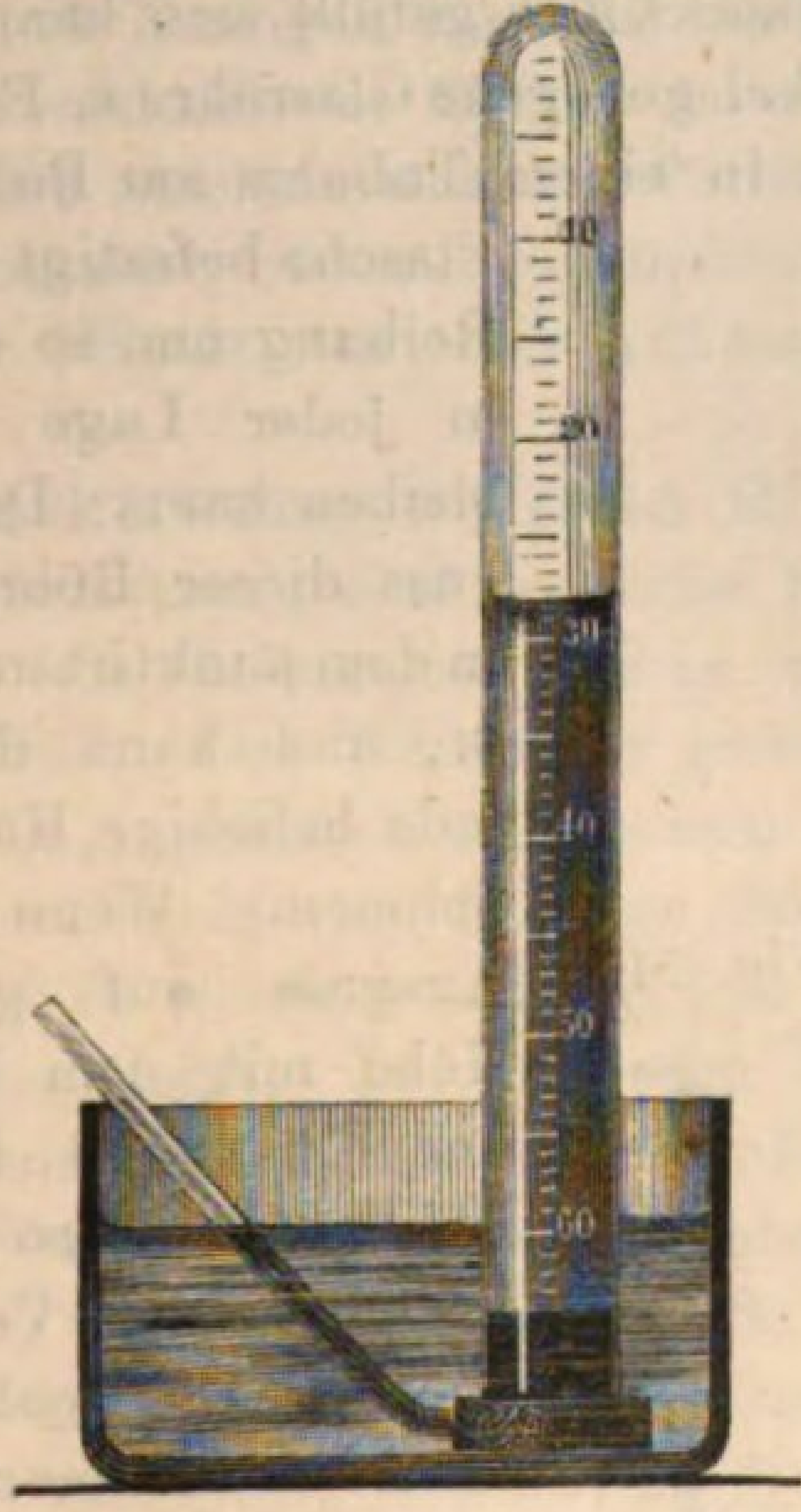


Fig. 244.

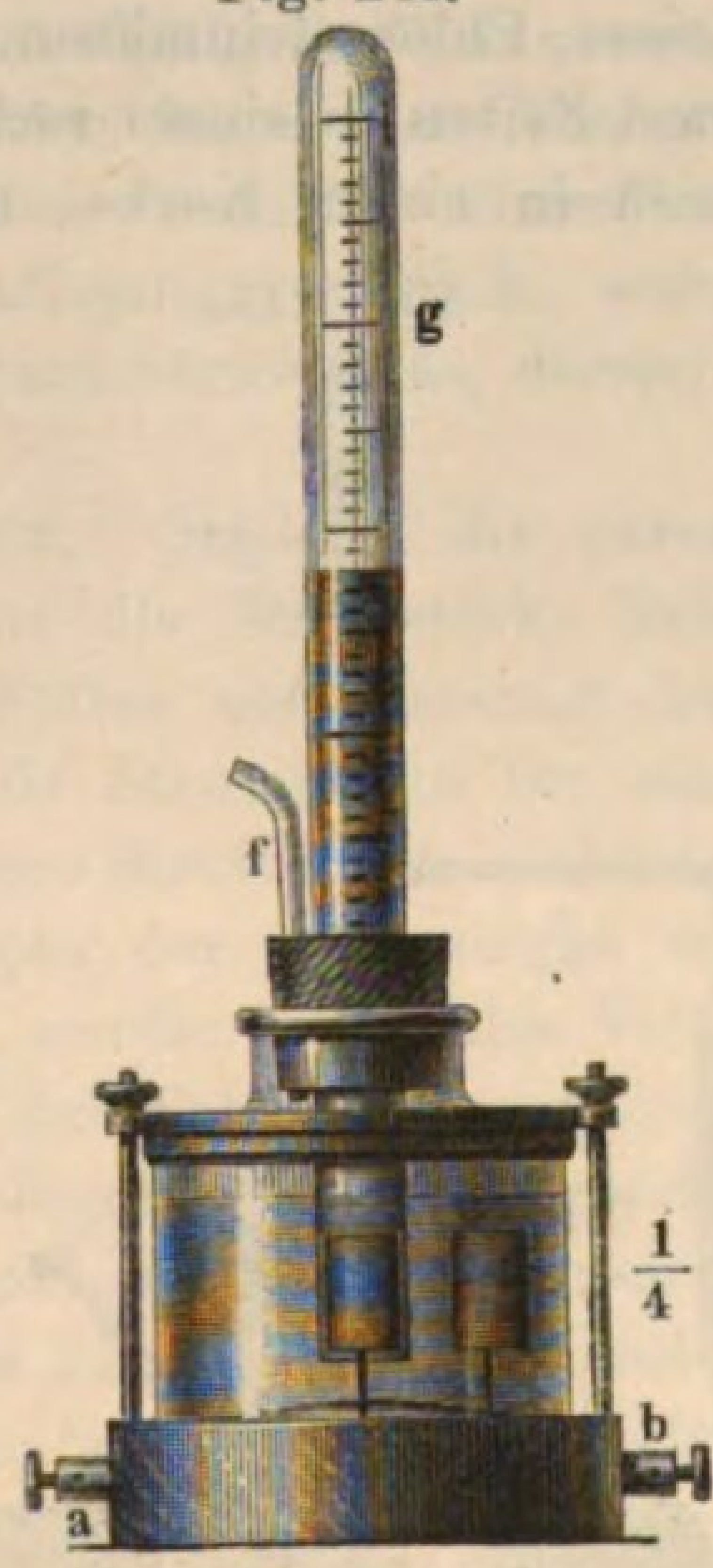
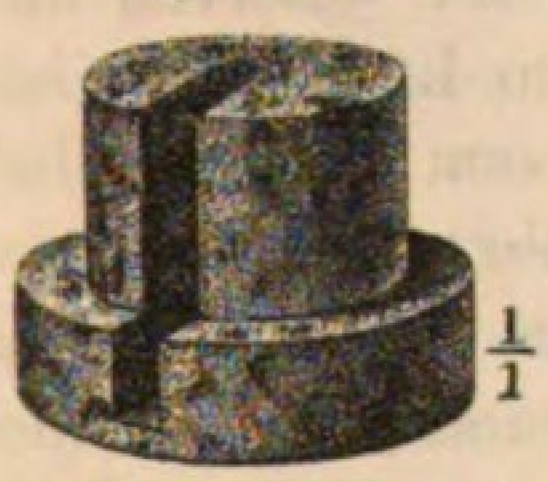


Fig. 243.



den Hals des Glasgefässes eingesetzt, welches das gesäuerte Wasser enthält. Der obere Theil dieses Glasgefässes steht durch das oben etwas umgebogene Glasröhrchen *f* mit der äusseren Luft in Verbindung. Um das Rohr *g* mit Flüssigkeit zu füllen, braucht man den Apparat nur so umzulegen, dass das Rohr *g* in horizontale Lage kommt und die Oeffnung des Röhrchens *f* gerade nach oben schaut. Ist *g* gefüllt, so wird der Apparat wieder aufgestellt, wie die Figur ihn zeigt.

Unsere Figur stellt dieses Voltameter in möglichster Einfachheit

dar; meist wird es so ausgeführt, dass es von einem Fuss getragen wird, in welchem es um eine horizontale, rechtwinklig zu *ab* stehende Axe gedreht und in horizontale Lage gebracht werden kann, aus welcher es alsdann durch Federn in seine verticale Stellung zurückgeführt wird. In dieser Form führt der Apparat den Namen eines Schaukelvoltameters (voltamètre à bascule).

Wenn es auf grosse Genauigkeit ankommt, muss man das Knallgas nicht über Wasser, sondern über Quecksilber auffangen, und um eine Absorption der entwickelten Gase in der durchströmten Flüssigkeit im Zersetzungsgefässe selbst zu verhindern, muss dieselbe nahe bis zu 100° erwärmt sein.

Fig. 245 stellt eine von Mohr angegebene sehr zweckmässige Form des Voltameters dar. *a* ist die Zersetzungszelle, in welche der Strom durch zwei Platinplatten geleitet wird. Die Flüssigkeit ist verdünnte Schwefelsäure. Das entwickelte Gas wird in die Flasche *b* geleitet, die mit Wasser, Chlorcalciumlösung oder Quecksilber gefüllt sein kann. Die nach zwei Seiten in einem rechten Winkel gebogene Glasröhre *c*, Fig. 246, dreht sich in einem Korke, der dicht in einem Tubulus am Boden der Flasche befestigt ist, mit Reibung um, so dass sie in jeder Lage stehen bleiben kann. Der Ausguss dieser Röhre läuft in dem punktirten Kreise *m*, und kann dadurch jede beliebige Höhe annehmen. Wenn dieser Ausguss auf gleicher Höhe mit dem Niveau der Flüssigkeit in der Flasche steht, so ist die Flasche zum Versuche bereit. Die senkrechte Röhre *n* dient zum Erkennen, ob die Spannung der äusseren und inneren Luft gleich ist; in diesem Falle nämlich steht das Niveau der Flüssigkeit innerhalb dieser Röhre genau in der Ebene des Flüssigkeitsspiegels. Die Beobachtung dieses kleinen Punktes inmitten einer horizontalen Wasserfläche schliesst jeden Fehler einer Parallaxe aus. Die Messung findet nun ganz leicht statt. Man schliesst die Kette und bemerkt den Stand der Uhr in diesem Momente. Hat die Wasserzersetzung eine bestimmte Zeit lang fortgedauert, so unterbricht man den Strom, bringt durch Beugen der Röhre *c* noch so viel

Fig. 245.

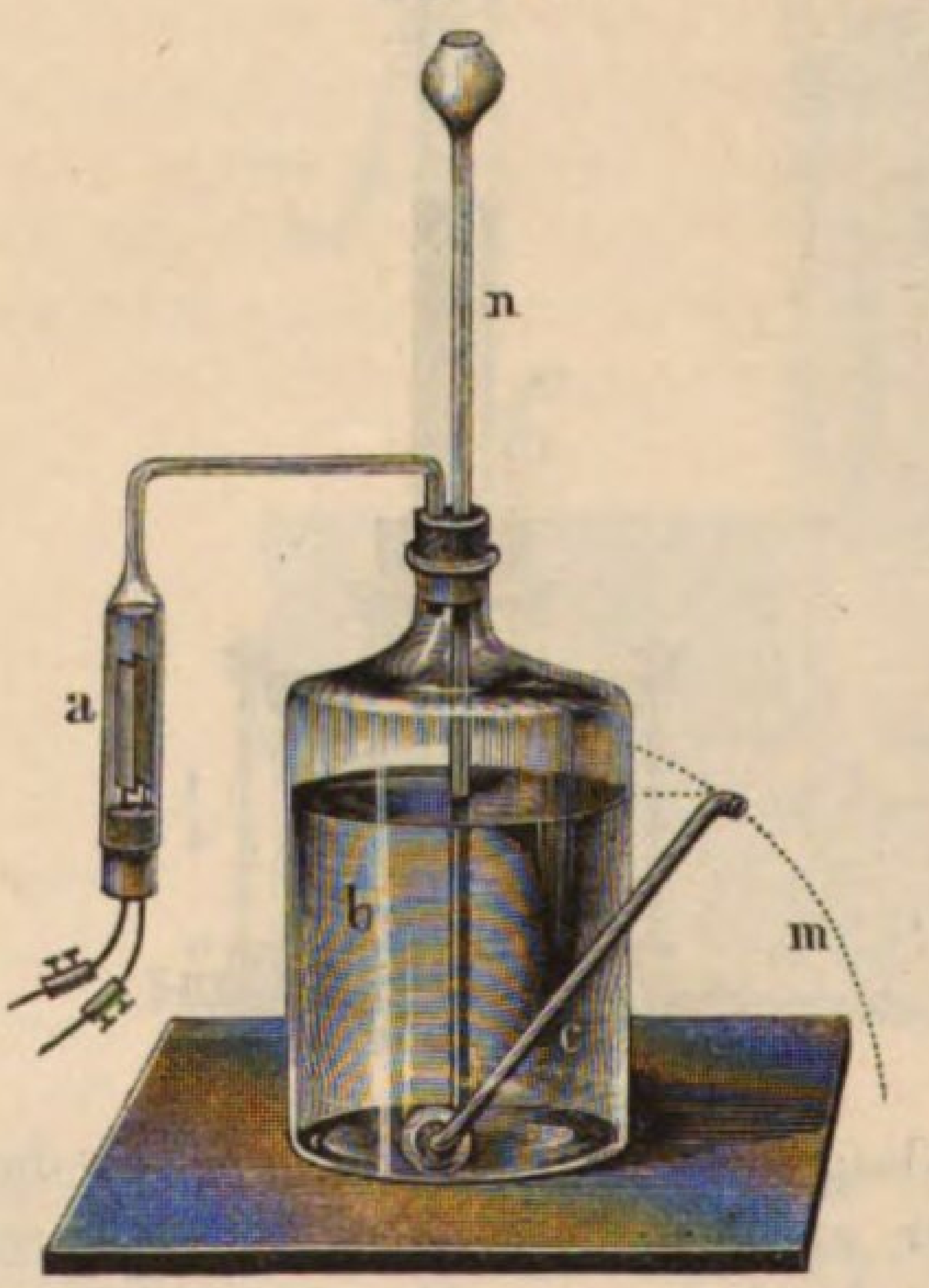


Fig. 246.



Wasser zum Ausfliessen, dass die Spannung der Luft innen und aussen wieder gleich ist, und bestimmt dann die Menge des ausgeflossenen Wassers nach Volumen oder Gewicht.

Um die gemessenen Gasvolumina vergleichbar zu machen, muss man sie stets auf gleichen Druck und gleiche Temperatur reduciren. Man reducirt die Gasvolumina auf eine Temperatur von 0⁰ und einen Druck von 760 Millimeter Quecksilber.

Wir wollen nach Jacobi's Vorschlag als Einheit der Stromstärke einen Strom annehmen, welcher in einer Minute 1 Cubikcentimeter Knallgas von der eben bezeichneten Dichtigkeit liefert.

Wenn man überhaupt alle Instrumente, welche zur Messung der Stromstärke dienen, Rheometer nennt, so muss man das Voltameter als elektrochemisches Rheometer bezeichnen.

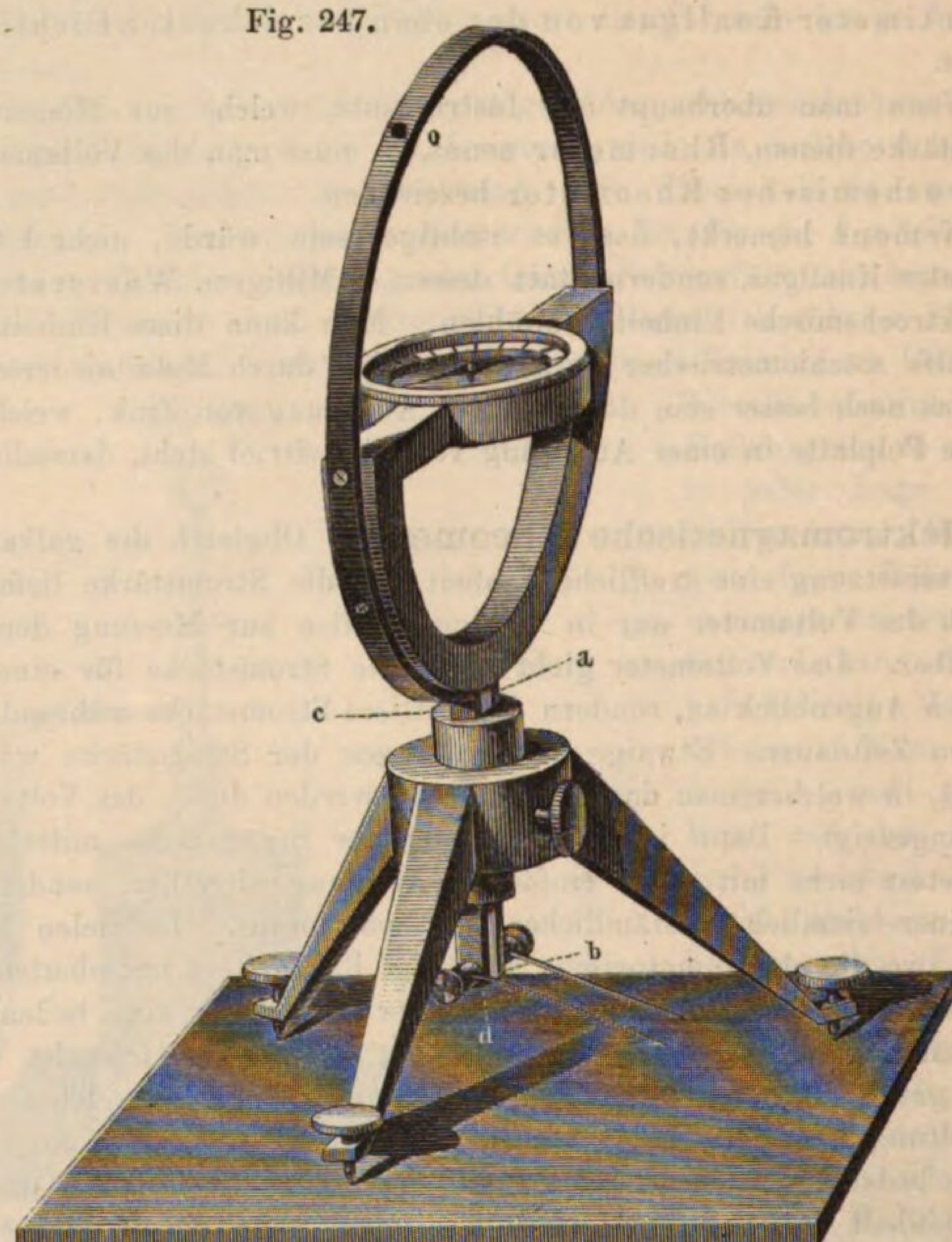
Siemens bemerkt, dass es richtiger sein würde, nicht 1 Cubikcentimeter Knallgas, sondern statt dessen 1 Milligrm. Wasserstoffgas als elektrochemische Einheit zu wählen. Man kann diese Einheit dann mit Hülfe stöchiometrischer Verhältnisszahlen durch Metallniederschläge, oder was noch besser sein dürfte, durch Auflösung von Zink, welches als positive Polplatte in einer Auflösung von Zinkvitriol steht, darstellen.

Elektromagnetische Rheometer. Obgleich die galvanische Wasserzersetzung eine treffliche Einheit für die Stromstärke liefert, so ist doch das Voltameter nur in wenigen Fällen zur Messung derselben anwendbar. Das Voltameter giebt nicht die Stromstärke für einen bestimmten Augenblick an, sondern die mittlere Stromstärke während einer längeren Zeitdauer. Etwaige Schwankungen der Stromstärke während der Zeit, in welcher man das Gas auffängt, werden durch das Voltameter nicht angezeigt. Dann ist die Messung der Stromstärke mittelst des Voltameters nicht mit einer einfachen Ablesung abgethan, sondern sie setzt einen ziemlich umständlichen Versuch voraus. In vielen Fällen endlich, wo die elektromotorische Kraft des Rheomotors unbedeutend ist, man aber doch bei vollkommen metallischer Schliessung eine bedeutende Stromstärke erhalten kann, ist die Messung derselben mittelst des Voltameters gar nicht möglich, weil der Leitungswiderstand, welcher durch Einschaltung dieses Instrumentes in den Schliessungsbogen eingeführt wird, so bedeutend ist, dass dadurch die Stromstärke oft auf eine unmessbare Kleinheit zurückgeführt wird; kurz man kann das Voltameter in den meisten Fällen schon deshalb nicht anwenden, weil durch dasselbe die Stromstärke ausserordentlich geschwächt wird. 82

Man muss sich also noch nach anderen Rheometern umsehen, und diese werden uns durch die magnetischen Wirkungen des Stromes geliefert, welche später ausführlich besprochen werden und von denen hier nur vorläufig in so weit Erwähnung geschieht als nothwendig ist, um zu zeigen, wie sie zur Messung der Stromstärke dienen können.

Wenn man den galvanischen Strom mittelst eines Leitungsdrahtes in der Nähe einer Magnetnadel vorbeiführt, so wird dieselbe aus ihrer durch den Erdmagnetismus bedingten Gleichgewichtslage abgelenkt. Dasselbe findet nun auch statt, wenn man den Strom in einem Kreise um die Nadel herumführt. In diesem Falle aber findet zwischen der Stromstärke und der Grösse der Ablenkung eine einfache, sogleich näher zu besprechende Beziehung statt, welche W. Weber zur Construction seiner Fig. 247 in etwas veränderter Form dargestellten Tangentenbussole anwandte. Eine Bussole befindet sich in der Mitte eines verticalen

Fig. 247.



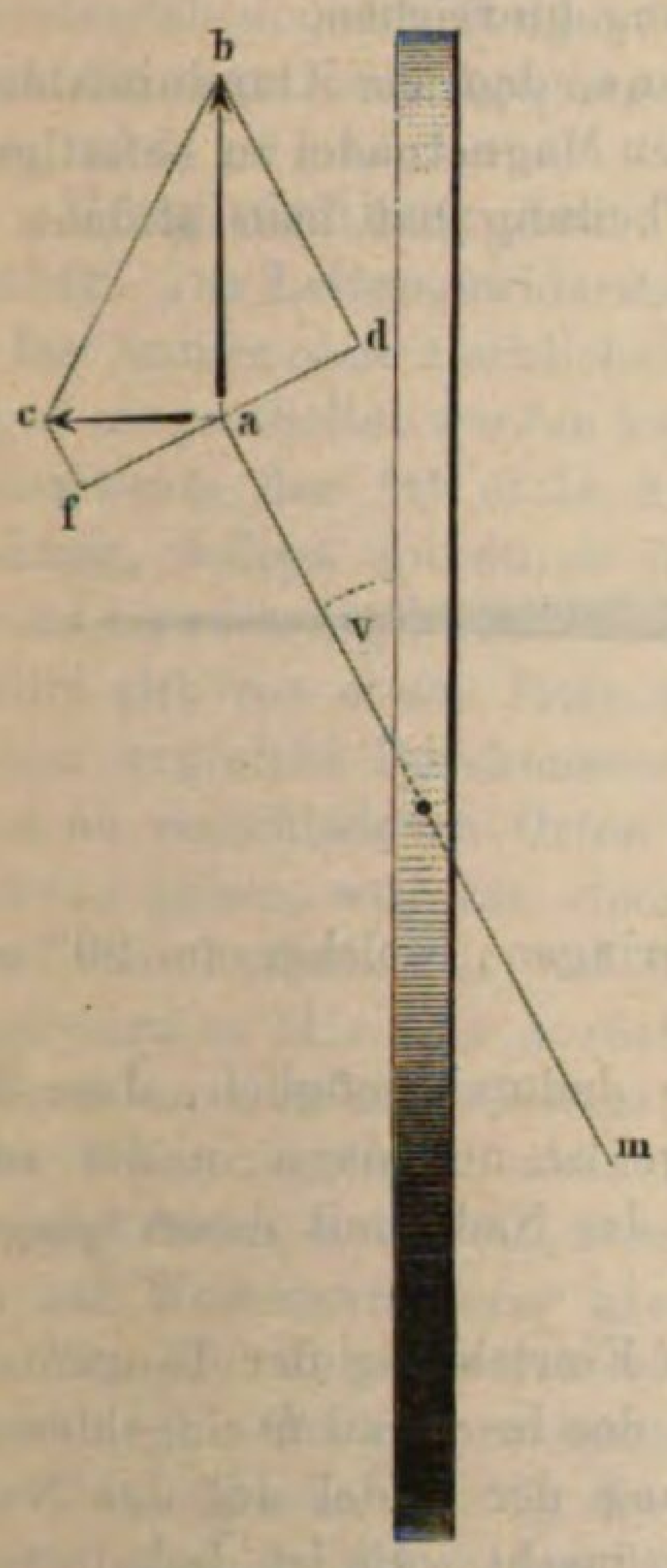
Ringes, welcher durch einen $^1/_2$ bis 1 Linie dicken Kupferstreifen gebildet wird. Unten endet der Kupferring mit zwei geraden Kupferstreifen *ab* und *cd*, welche durch ein zwischen dieselben gelegtes Stück Holz oder Elfenbein von einander isolirt sind. Jedes dieser gerade ausgestreckten Enden des kreisförmig gebogenen Streifens trägt unten eine Schraubklemme zum Einschrauben der Zuleitungsdrähte.

Der Apparat wird so festgestellt, dass der Kupferring in der Ebene des magnetischen Meridians liegt; natürlich befindet sich in diesem Falle die Nadel in der Verticalebene des Ringes und zeigt auf den Nullpunkt ihrer Theilung; sobald aber ein galvanischer Strom durch den Kupferring geht, wird die Nadel abgelenkt, und zwar ist die Stärke des Stroms der trigonometrischen Tangente des Ablenkungswinkels proportional, weshalb denn auch dies Instrument den Namen der **Tangentenbussole** führt.

Dieser Zusammenhang zwischen der Stromstärke und dem Ablenkungswinkel ergiebt sich aus folgender Betrachtung.

In Fig. 248 stelle der schattirte Streifen den Ring von oben gesehen, *am* die durch den Strom abgelenkte Nadel dar, welche hier freilich etwas zu gross gezeichnet ist, um die Figur nicht undeutlich zu machen. Wenn die Nadel klein ist gegen den Durchmesser des Kreises, so ist die Spitze der abgelenkten Nadel nicht merklich weiter vom Kupferringe entfernt, als wenn sie gar nicht abgelenkt wäre, man kann also die Zunahme dieser Entfernung ganz unberücksichtigt lassen.

Fig. 248.



Es greifen nun aber an der Spitze der Nadel zwei Kräfte an; die magnetische Erdkraft ab, in der Richtung des magnetischen Meridians wirkend, strebt die Nadel in die Ebene des Ringes zurückzuführen, der Strom aber hat ein Bestreben, die Nadel rechtwinklig auf den magnetischen Meridian zu stellen, er wirkt in der Richtung ac auf die Spitze der Nadel. Die rechtwinklig auf die Richtung der Nadel wirkenden Seitenkräfte von ab und ac sind nun ad und af; die Nadel wird in Ruhe sein, wenn $ad = af$. Nun ist Winkel $caf =$ dem Ablenkungswinkel v der Nadel, weil ca auf dem magnetischen Meridian, af auf der Nadel rechtwinklig steht, folglich ist $af = ac \, . \cos v$. Ferner ist auch der Winkel $abd = v$, weil ab mit dem magnetischen Meridian und bd mit der Nadel parallel ist, und demnach ist $ad = ab \, . \sin v$; da aber für den Fall des Gleichgewichts $ad = af$, so ist $ac \, . \cos v = ab \, . \sin v$ oder $ac = ab \, . \operatorname{tang} v$, oder endlich

$$S = R \, . \operatorname{tang} v,$$

wenn man mit S die Stromkraft ac, mit R die magnetische Erdkraft ab bezeichnet. Es ist also bei diesem Instrumente in der That die Strom-

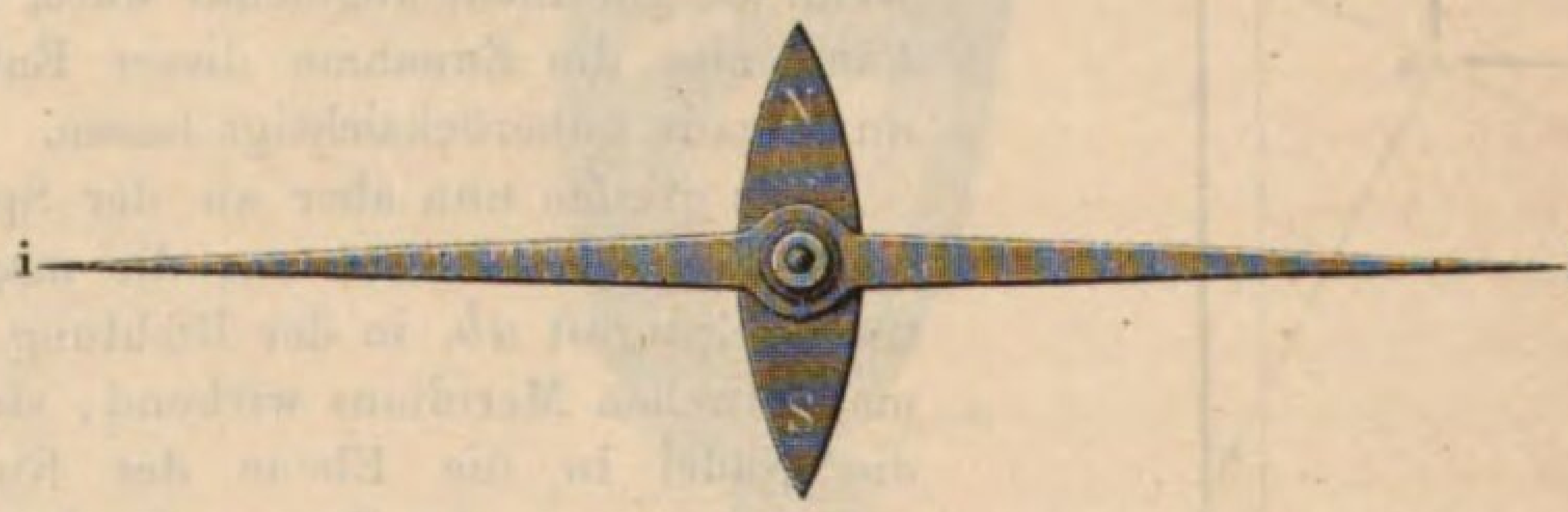
kraft der Tangente des Ablenkungswinkels proportional, wie bereits oben bemerkt wurde.

Die Magnetnadel kann etwa 1 bis $1^1/_2$ Zoll lang sein und der Durchmesser des Ringes 8 bis 16 Zoll betragen.

Die Länge der Nadel darf höchstens $^1/_5$ des Ringdurchmessers betragen; je kleiner sie im Vergleich zu diesem ist, desto genauer ist die Stromkraft der Tangente des Ablenkungswinkels proportional. Je kleiner aber die Nadel wird, desto kleiner wird auch die Theilung, auf welcher man die Ablenkung abliest, wenn der Radius des getheilten Kreises der halben Länge der Nadel gleich ist. Um aber, wenn grosse Genauigkeit gefordert wird, eine kleine Nadel mit einem grossen Theilkreise zu verbinden, befestigt man an der Nadel feine Glasfäden, wo möglich von dunkelfarbigem Glase, so dass sie in der Verlängerung der magnetischen Axe der Nadel liegen und bis zu der Theilung hinreichen.

Noch zweckmässiger ist es nach Siemens, den aus Aluminiumblech verfertigten Index rechtwinklig zur kurzen Magnetnadel zu befestigen, wie Fig. 249 zeigt. Den Nullpunkt der Theilung hat man alsdann in

Fig. 249.



demjenigen Punkte des Kreisumfangs anzubringen, welcher um 90^0 von der Ebene des Ringes absteht.

Eine sehr genaue Ablesung wird auch dadurch möglich, dass der Boden der Bussole ein Spiegel ist; das Auge ist nur dann in der zum Ablesen richtigen Stellung, wenn die Spitze der Nadel mit ihrem Spiegelbilde zusammenfällt.

Die in Fig. 247 Seite 230 dargestellte Einrichtung der Tangentenbussole hat den Nachtheil, dass die Starrheit der in *a* und *b* eingeklemmten Zuleitungsdrähte eine genaue Einstellung der Nadel auf den Nullpunkt sehr erschwert, wenn nicht unmöglich macht. Es ist deshalb besser, zu der ursprünglichen Einrichtung Weber's zurückzukehren, nach welcher die beiden vertical herabgehenden Enden des Kupferringes in getrennte Quecksilbergefässe geleitet werden, mit denen die Zuleitungsdrähte in passender Weise in Verbindung gesetzt werden.

Um der Magnetnadel eine grössere Beweglichkeit zu sichern, hat man dieselbe an einem Coconfaden aufgehängt, statt sie mittelst eines Achathütchens auf einer Stahlspitze spielen zu lassen. Ich habe aber mit einer so aufgehängten Nadel, obgleich das Instrument von einem

rühmlichst bekannten und zuverlässigen Mechaniker ausgeführt war, nie zu einer sicheren Einstellung der Nadel gelangen können und bin deshalb wieder zu der alten Einrichtung zurückgekehrt.

Was die Richtung betrifft, nach welcher die Magnetnadel in der Tangentenbussole abgelenkt wird, so ist sie stets durch das folgende einfache Gesetz bestimmt: Das Südende der Nadel tritt stets nach der Seite aus der Ebene des stromleitenden Ringes hervor, von welcher aus gesehen der Strom in gleicher Richtung kreist, wie der Zeiger einer Uhr.

Wir werden auf dieses Gesetz später noch ausführlicher zurückkommen.

Ist durch einen Strom im Ringe der Tangentenbussole die Nadel nach einer Seite hin abgelenkt worden, so wird mit dem Umkehren der Stromesrichtung im Ringe der Tangentenbussole auch die Nadel nach einer der ersteren entgegengesetzten Seite abgelenkt werden.

Vergleichung der Tangentenbussole mit dem Voltameter. 83 Der Leitungswiderstand der Tangentenbussole ist so gering, dass sie fast immer ohne merkliche Schwächung des Stromes in den Schliessungsbogen eingeschaltet werden kann. Dagegen sind die Angaben verschiedener Instrumente der Art nicht direct mit einander vergleichbar. Die Ablenkung, welche ein durch den Ring einer Tangentenbussole geleiteter Strom hervorbringt, ändert sich mit dem Durchmesser dieses Ringes, sie variirt also von einem Instrumente zum anderen, wenn die Ringe derselben ungleiche Durchmesser haben. Ja ein und dasselbe Instrument wird an verschiedenen Orten bei gleicher Stromstärke nicht gleiche Ablenkung geben, weil von einem Orte der Erdoberfläche zum anderen die Kraft sich ändert, mit welcher der Erdmagnetismus die Nadel in den magnetischen Meridian zurückzuziehen strebt, wenn sie aus demselben entfernt worden ist. Diesem Uebelstande kann aber auf eine höchst einfache Weise abgeholfen werden, indem man die Angaben der Bussole direct mit denen eines Voltameters vergleicht, wenn man die Bussole gleichsam auf Wasserzersetzung aicht.

Um die Ablenkungen einer Tangentenbussole mit der chemischen Wirkung des Stromes zu vergleichen, muss man in den Schliessungsbogen einer Säule gleichzeitig die Tangentenbussole und das Voltameter einschalten und die durch den Strom in beiden Instrumenten hervorgebrachten Wirkungen mit einander vergleichen. Eine solche Versuchsreihe, bei welcher als Rheomotor eine aus Bunsen'schen Bechern gebildete Säule angewendet wurde, gab folgende Resultate:

Zahl der Erregungszellen.	Ablenkung.	Entwickelte Gasmengen in 3 Minuten.
12	28,5⁰	125 Cub.-Cent.
8	24,8	106
6	22,0	92,5
4	18,75	78
3	13,75	56
2	6,9	23,7

Während eines jeden Versuches, d. h. während der drei Minuten, innerhalb welcher das Gas aufgefangen wurde, schwankte die Nadel nur sehr wenig; sie ging regelmässig zurück, doch war der Rückgang in 3′ höchstens $^1/_2$ Grad; die Gradzahlen der obigen Tabelle sind stets das Mittel aus den zu Anfang und zu Ende der drei Minuten abgelesenen Winkeln.

Der Quotient, welchen man erhält, wenn man die Tangente des Ablenkungswinkels in die entsprechende Gasmenge einer Minute dividirt, sollte eigentlich eine constante Grösse sein, welche angiebt, wie viel Gas in der Minute durch einen Strom entwickelt wird, der an der Tangentenbussole eine Ablenkung von 45⁰ hervorbringt (weil *tang* 45⁰ = 1). Aus den verschiedenen der oben mitgetheilten Versuche ergiebt sich nun folgender Werth dieses Quotienten:

Nummer der Beobachtung.	Quotient.
1	76,7
2	76,5
3	76,2
4	76,6
5	76,3
6	76,6
Mittel	76,5

Während dieser Versuche war die Temperatur im Zimmer 15⁰ C. und der Barometerstand betrug 744 Millimeter. Als das Volumen des

Gases an der graduirten Röhre abgelesen wurde, stand der Wasserspiegel in der Röhre ungefähr 10 Centimeter höher als aussen, was einer Druckhöhe von 7 Millimeter Quecksilber entspricht. Das Gas stand also unter einem Drucke von 737 Millimetern. Auf die Temperatur von 0° und einen Druck von 760 Millimetern reducirt, beträgt demnach die einer Ablenkung von 45° entsprechende Gasmenge 70 Cubikcentimeter.

Nach chemischem Maass ist also die Stärke eines Stromes, welcher an jener Tangentenbussole eine Ablenkung von v^0 hervorbringt,

$$S = 70 \cdot tang\, v.$$

Gesetzt also z. B. ein Strom brächte an unserer Tangentenbussole eine Ablenkung von 54° hervor, so würde dieser Strom, wenn er in gleicher Stärke durch ein Voltameter ginge, $70 \cdot tang\ 54^0 = 70 \times 1{,}376 = 96{,}32$ Cubikcentimeter Knallgas von 0° und einem Druck von 760 Millimetern in einer Minute geliefert haben.

Hat man einmal nach der eben erwähnten Methode den Reductionsfactor einer Tangentenbussole ermittelt, so kann man mittelst desselben jede an derselben gemachte Beobachtung leicht in chemischen Effect umsetzen oder, mit anderen Worten, nach dem an der Tangentenbussole abgelesenen Winkel die Stromstärke in chemischem Maasse ausgedrückt angeben.

Es versteht sich von selbst, dass dieser Reductionsfactor immer nur für ein specielles Exemplar einer Tangentenbussole gelten kann, und dass er selbst für dieses specielle Instrument nur so lange gilt, als man die Versuche an demselben Orte anstellt. Brächte man z. B. die Bussole von Freiburg nach Marburg, so würde der Reductionsfactor einen geringeren Werth erhalten, weil die horizontale Intensität des Erdmagnetismus in Marburg geringer ist als in Freiburg.

In gleicher Weise, wie dies eben für die Tangentenbussole geschehen ist, kann man auch jedes andere elektromagnetische Rheometer, z. B. eine Sinusbussole, mit den Angaben des Voltameters vergleichen.

Die oben angeführten Zahlen machen keinen Anspruch auf grosse Genauigkeit, sie sollen nur als Erläuterungsbeispiele dienen. Da das Wasser mehr oder weniger von den im Voltameter entwickelten Gasen absorbirt, so ist nur dann ein vollkommen genaues Resultat zu erwarten, wenn das gesäuerte Wasser ungefähr bis 100° erwärmt ist und man die entwickelten Gase über Quecksilber auffängt.

Experimentelle Bestätigung des Ohm'schen Gesetzes. 84

Um das Ohm'sche Gesetz durch Versuche zu prüfen, muss man constante Rheomotoren, also Bunsen'sche, Grove'sche oder Daniell'sche (Becquerel'sche) Becher anwenden. Die zunächst folgenden Versuche sind mit Daniell'schen Bechern angestellt worden.

Um zu bestimmen, nach welchem Gesetze die Stromstärke abnimmt, wenn der Schliessungsbogen verlängert wird, lässt man zuerst den Strom unmittelbar durch die Tangentenbussole gehen, dann aber schaltet man

der Reihe nach gleich dicke Drahtstücke von verschiedener Länge ein. Um die längeren Drähte bequem anwenden zu können, müssen sie mit Seide übersponnen und zusammengewunden sein.

Eine Versuchsreihe der Art, bei welcher ein einziger Daniell'scher Becher als Elektromotor diente, gab folgende Resultate:

Länge des eingeschalteten Kupferdrahtes.	Beobachtete Ablenkung.	Tangente des Ablenkungswinkels.
0 Meter	62° 00′	1,880
5	40 20	0,849
10	28 30	0,543
40	9 45	0,172
70	6 00	0,105
100	4 15	0,074

Bezeichnen wir den wesentlichen Leitungswiderstand des Elementes mit x (hier aus dem Widerstand des Bechers selbst und dem allerdings sehr geringen Widerstand der Tangentenbussole und dem der unentbehrlichen Zuleitungsdrähte bestehend), so entspricht also dem Widerstand x die Ablenkung von 62°, dem Widerstand $x + 5$ die Ablenkung von 40° 20′ u. s. w. und wenn die Stärke der hydroelektrischen Ströme bei gleicher elektromotorischer Kraft wirklich dem Widerstand umgekehrt proportional sein soll, so haben wir

$$x : x + 5 = 0{,}849 : 1{,}880,$$

woraus sich ergiebt $x = 4{,}11$. Vergleicht man auf dieselbe Weise die erste Beobachtung mit allen folgenden, so müsste man, wenn keinerlei Beobachtungsfehler vorkämen, immer gleichen Werth für x erhalten, und in der That sind die auf diese Weise berechneten Werthe von x sehr nahe einander gleich; man findet nämlich ausser dem schon berechneten 4,06, 4,03, 4,14 und 4,09 Meter. Das Mittel daraus ist 4,08.

Der wesentliche Widerstand λ des Elementes war also in diesem Falle gleich dem Widerstande eines 4,08 Meter langen Kupferdrahtes von derselben Dicke wie der eingeschaltete. Legt man diese Länge zu Grunde, so kann man umgekehrt von der für die Einschaltung o beobachteten Ablenkung 62° ausgehend nach der Gleichung

$$tang\, v = \frac{e}{\lambda + l}$$

berechnen, wie gross die Ablenkung v sein muss, wenn ausser dem wesentlichen Widerstand $\lambda = 4{,}08$ noch die Widerstände $l = 5$, $l = 10$ u. s. w.

eingeschaltet werden. In der folgenden Tabelle sind die so berechneten Ablenkungen mit den beobachteten zusammengestellt.

Länge der Kette.	Berechnete Ablenkung.	Beobachtete Ablenkung.	Differenz.
4,08 Meter	62° 00′	62° 00′	
9,08	40 18	40 20	+ 2′
14,08	28 41	28 30	— 11
44,08	9 56	9 45	— 11
74,08	5 57	6 00	+ 3
104,08	4 14	4 15	+ 1

Eine solche Uebereinstimmung zwischen den Resultaten der Beobachtung und denen, die man aus dem Ohm'schen Gesetz abgeleitet hat, lässt keinen Zweifel mehr über die Richtigkeit dieses Gesetzes für hydroelektrische Ströme.

In der eben angegebenen Weise wurde der Widerstand von sechs einander möglichst gleichen Daniell'schen Bechern ermittelt. Die folgende Tabelle enthält die Resultate dieser Versuchsreihe.

Nummer der Elemente.	Drahtlängen, welche in den Schliessungsbogen eingeschaltet waren.	Beobachtete Ablenkung.	Tangente des Ablenkungswinkels.	Widerstand des Elementes.
1	0m	69° 00′	2,600	Meter
	40	11 00	0,194	3,20
2	0	66 30	2,300	—
	40	10 40	0,188	3,55
3	0	67 40	2,434	—
	40	10 20	0,182	3,23
4	0	67 00	2,355	—
	40	10 20	0,182	3,55
5	0	68 00	2,475	—
	40	11 00	0,194	3,40
6	0	64 00	2,050	—
	40	10 00	0,176	3,57

Die letzte Columne drückt aus, wie lang ein Draht von der zur Einschaltung angewandten Dicke sein müsste, um denselben Leitungswiderstand hervorzubringen wie der, welcher zu überwinden ist, wenn der Rheomotor nur durch die Tangentenbussole geschlossen ist.

Die einzelnen Becher hatten also fast gleichen Widerstand. Zu einer Säule verbunden, gaben sie einen Strom, welcher einen Platindraht von $^1/_4$ Millimeter Dicke und mehr als 20 Centimeter Länge fortdauernd glühend erhalten konnte. Liess man nun diesen Strom durch die Tangentenbussole gehen, so erhielt man bei Einschaltung verschiedener Längen von Kupferdraht folgende Resultate:

Länge des eingeschalteten Drahtes.	Beobachtete Ablenkung.	Tangente des Ablenkungswinkels.	Widerstand der Säule.
0 Meter	68° 30′	2,538	Meter
5	63 20	1,991	18,20
10	58 30	1,632	19,03
40	39 0	0,810	18,01
70	28 0	0,532	18,56
100	21 30	0,394	18,38
		Mittel . . .	18,43

Die sechs Elemente zusammen leisten also mit der Tangentenbussole einen Leitungswiderstand wie ein 18,43 Meter langes Stück des eingeschalteten Drahtes; der Widerstand der Säule ist also nahezu sechsmal so gross als der eines einzelnen Bechers.

Diese Versuche bestätigen auch das in §. 80 aus dem Ohm'schen Gesetz abgeleitete Resultat, dass bei geringem Widerstand im Schliessungsbogen die Stromstärke durch Vermehrung der Becherzahl nicht merklich gesteigert wird. Für einen einzelnen Becher nämlich ergab sich im Durchschnitt eine Ablenkung von 67°, wenn der Schliessungsbogen nur durch die Tangentenbussole und die kurzen dicken Zuleitungsdrähte gebildet wurde. Für eine Säule von sechs solchen Bechern ergab sich bei demselben Schliessungsbogen die nur wenig grössere Ablenkung von 68° 30′.

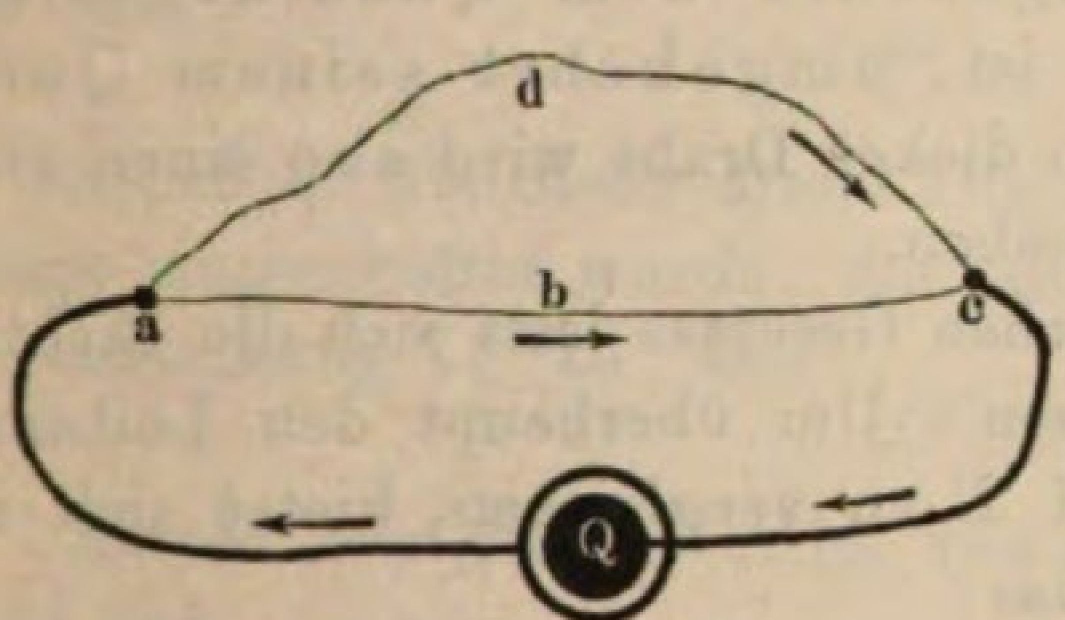
Anders verhält es sich, wenn ein bedeutender Widerstand eingeschaltet ist. Bei einer Einschaltung von 40 Meter Kupferdraht war die Ablenkung, welche ein einzelner Becher hervorbrachte, im Mittel nur 10° 20′, für eine Säule von sechs solchen Bechern aber stieg sie auf 39°.

85 **Stromverzweigung.** Wird der Stromkreis einer galvanischen Säule nicht durch eine einfache Leitung gebildet, sondern ist die Leitung verzweigt, so lassen sich dennoch die Intensitäten des Stromes in jedem

einzelnen Stromzweige aus dem Ohm'schen Gesetze ableiten. Es ist dies auch dann noch möglich, wenn die Stromtheilung nicht eine einfache, sondern eine complicirtere ist, und wenn nicht eine einzige, sondern mehrere Stromquellen in verschiedenen Zweigen vorhanden sind. Dies Problem ist schon früher von Ohm und Pouillet, später von Poggendorff und W. Weber, zuletzt aber in grösster Allgemeinheit von Kirchhoff gelöst worden. Wir müssen uns hier begnügen, den einfachsten Fall der Stromtheilung zu betrachten.

Es sei Q, Fig. 250, die Stromquelle, welche einen Strom von der Stärke J liefert, der bis zum Punkte a ungetheilt fortströmt. In a aber findet eine Stromtheilung statt. Ein Stromtheil von der Stärke i geht durch den Zweig abc, ein anderer Theil des Stromes von der Stärke i' geht von a über d nach c.

Fig. 250.



Zunächst haben wir

$$i + i' = J,$$

d. h. die Summe der Stromstärken in den beiden Zweigen ist gleich der Stärke des ungetheilten Stromes.

Ferner verhalten sich die Stromstärken i und i' umgekehrt wie die Leitungswiderstände der von ihnen durchströmten Zweige, wir haben also

$$i : i' = r' : r,$$

wenn mit r der Leitungswiderstand im Stromzweig abc, mit r' der im Stromzweig adc bezeichnet wird. Bezeichnen wir mit w den Widerstand, welchen die beiden gleichzeitig in den Schliessungsbogen eingeschalteten Zweige abc und adc dem Strome entgegensetzen, mit w, so haben wir ferner

$$J : i = r : w$$
$$J : i' = r' : w$$

oder

$$i = J\frac{w}{r} \text{ und } i' = J\frac{w}{r'}.$$

Da nun aber $i + i' = J$, so haben wir auch

$$\frac{w}{r} + \frac{w}{r'} = 1$$

oder

$$w = \frac{r \,.\, r'}{r + r'}.$$

Wäre z. B. $r = r'$, so ergäbe sich $w = \frac{r}{2}$.

86 **Leitungswiderstand der Metalldrähte.** Der elektrische Leitungswiderstand eines Metalldrahtes ist abhängig

1. von seiner Länge,
2. von seinem Durchmesser,
3. von der Natur des Metalles, aus welchem er besteht.

Dass der Leitungswiderstand eines Metalldrahtes *caeteris paribus* seiner Länge proportional ist, versteht sich wohl von selbst, und wir haben die Richtigkeit dieses Satzes in §. 84, wo es sich um die experimentelle Bestätigung des Ohm'schen Gesetzes handelte, stillschweigend vorausgesetzt.

Was den Einfluss der Dicke betrifft, so ist der Leitungswiderstand eines Metalldrahtes umgekehrt dem Quadrat seines Durchmessers, oder was dasselbe ist, umgekehrt seinem Querschnitt proportional. Ein halb so dicker Draht wird also einen viermal grösseren Leitungswiderstand ausüben.

Mit Zugrundelegung des Ohm'schen Gesetzes lässt sich die Richtigkeit dieser Behauptung leicht beweisen. Um überhaupt den Leitungswiderstand zweier Drahtstücke A und B zu vergleichen, bietet sich zunächst folgendes einfache Verfahren dar:

In den Schliessungsbogen eines constanten Bechers schalte man mittelst dicker kupferner Zuleitungsdrähte eine Weber'sche Tangentenbussole ein und beobachte die durch den Strom bewirkte Ablenkung. Es sei J die ihr entsprechende Stromstärke.

Nun schalte man in den Schliessungsbogen einen Draht A ein, dessen Leitungswiderstand wir mit a bezeichnen wollen. Die Ablenkung wird nun eine geringere sein; die ihr entsprechende Stromstärke sei J'.

Endlich schalte man statt des Drahtes A den Draht B ein, dessen Leitungswiderstand b mit dem von A verglichen werden soll. Die Tangentenbussole wird nun eine Ablenkung zeigen, welcher die Stromstärke J'' entspricht. Nach dem Ohm'schen Gesetz haben wir nun

$$J = \frac{e}{r}$$

$$J' = \frac{e}{r + a}$$

$$J'' = \frac{e}{r + b},$$

wenn wir mit e die elektromotorische Kraft des Bechers und mit r den Leitungswiderstand desselben sammt dem Leitungswiderstande der Tangentenbussole und der dicken Zuleitungsdrähte bezeichnen. Aus der Combination der obigen drei Gleichungen ergiebt sich

$$b = a \cdot \frac{J'}{J''} \cdot \frac{J - J''}{J - J'} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

Um nun zu ermitteln, in welchem Verhältniss der Leitungswiderstand eines Drahtes zu seinem Durchmesser steht, schalte man zunächst einen

Draht A von gegebener Länge und gemessenem Durchmesser ein, sodann aber anstatt A einen anderen Draht, der bei gleicher Länge nmal dünner ist; man wird dann finden, dass der Leitungswiderstand des Drahtes B n^2mal so gross ist als der von A.

Bei einem derartigen Versuch ergab sich für die Einschaltung o die Ablenkung $51{,}5^0$, also

$$J = 1{,}257,$$

wenn wir ohne Weiteres die Tangente des Ablenkungswinkels für das Maass der Stromstärke nehmen.

Als nun ein Kupferdraht A von 5 Meter Länge und 0,8 Millimeter Durchmesser eingeschaltet wurde, ging die Nadel auf 37^0 zurück, es war also

$$J' = 0{,}754$$

als endlich an die Stelle dieses Drahtes ein Kupferdraht von der gleichen Länge eingeschaltet wurde, der aber nur $0{,}4^{mm}$ Durchmesser hatte, war die Ablenkung $19^0 45'$, also

$$J'' = 0{,}338.$$

Setzen wir diese Werthe von J, J' und J'' in Gleichung 1), so ergiebt sich

$$b = 4{,}0 \ldots a,$$

der halb so dicke Draht übt also in der That einen viermal grösseren Leitungswiderstand aus. Hätte man statt des Drahtes B, welcher nur halb so dick ist als A, einen dreimal dünneren eingeschaltet, so würde man seinen Leitungswiderstand 9mal grösser gefunden haben als den von A. Als bei einem derartigen Versuche ein Eisendraht eingeschaltet wurde, welcher ebenso lang und ebenso dick war (5^m lang und $0{,}8^{mm}$ dick) als der Kupferdraht A, ergab sich eine Ablenkung von 14^0, also

$$J'' = 0{,}249.$$

Setzen wir diesen Werth mit $J = 1{,}257$ und $J' = 0{,}754$ in Gleichung 1), so kommt

$$b = \frac{0{,}754}{0{,}249} \cdot \frac{1{,}008}{0{,}503} \, a = 6a,$$

d. h. der Leitungswiderstand eines Eisendrahtes ist 6mal so gross als der eines Kupferdrahtes von gleichen Dimensionen.

Der gleiche Versuch mit Messingdraht angestellt ergab das Resultat, dass der Leitungswiderstand des Messings 4mal so gross ist als der des Kupfers.

Der specifische Leitungswiderstand. Am Schlusse des vorigen Paragraphen haben wir gesehen, dass verschiedene Metalldrähte bei gleichen Dimensionen ungleiche Leitungswiderstände haben. Die Zahl nun, welche angiebt, wie vielmal grösser bei gleichen Dimensionen der Leitungswiderstand eines Metalles ist als der eines anderen, welches man zur Einheit annimmt, wird der specifische Leitungswiderstand ge- 87

nannt. Auf Kupfer bezogen ist, den obigen Angaben zufolge, der specifische Leitungswiderstand des Eisens gleich 6 und der des Messings gleich 4.

Der Werth des specifischen Leitungswiderstandes für die meisten Metalle ist von mehreren Physikern und zwar nach verschiedenen zum Theil noch später zu besprechenden Methoden bestimmt worden. Die folgenden Tabellen enthalten eine Zusammenstellung der zuverlässigsten Resultate und zwar die erste, wenn man den specifischen Leitungswiderstand des Kupfers, die zweite, wenn man den des Quecksilbers zur Einheit nimmt.

Namen der Metalle.	Ohm.	Lenz.	Becquerel.	Matthiessen.	Riess.
Kupfer	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Silber	2,80	0,73	0,91	0,77	0,67
Gold	1,74	1,25	1,41	1,38	—
Aluminium	—	—	—	2,29	—
Zink	3,00	—	3,81	2,82	—
Messing	—	—	—	—	3,57
Eisen	5,72	5,60	7,41	5,36	5,88
Zinn	5,95	3,25	6,53	6,76	—
Platin	5,83	7,12	11,54	7,35	6,66
Blei	10,36	6,86	11,06	9,96	—
Antimon	—	11,29	—	18,07	—
Quecksilber	—	21,58	52,89	47,48	—
Wismuth	—	38,61	—	64,52	—
Neusilber	—	—	—	10,09	11,33
Graphit	—	—	—	1106,0	—
Gaskohle	—	—	—	2037,0	—

Die von Riess angegebenen Zahlenwerthe sind nach der in §. 57 besprochenen Methode bestimmt.

Namen der Metalle.	Matthiessen.	Siemens.	Müller.
Quecksilber	1,0000	1,0000	1,0000
Silber	0,0163	0,0156	0,0154
Kupfer	0,0210	0,0182	0,0182
Messing	—	0,0833	0,0720
Zink	0,0594	—	0,0857
Eisen	0,1129	—	0,1176
Platin	0,1548	0,1212	0,1314
Blei	0,2098	—	0,3250
Neusilber	0,2125	—	0,3527

Für ein und dasselbe Metall differiren die von verschiedenen Beobachtern gefundenen Werthe des specifischen Leitungswiderstandes oft sehr bedeutend. Der Grund dieser Abweichungen dürfte übrigens weniger in der Mangelhaftigkeit der Methoden oder in Beobachtungsfehlern zu suchen sein, als vielmehr in dem Umstande, dass die Drähte, mit welchen sie experimentirten, nicht immer chemisch rein waren. Der Leitungswiderstand gut leitender Metalle, wie Kupfer und Silber, wird nämlich schon durch einen geringen Zusatz schlechter leitender Metalle bedeutend vermehrt.

Aber auch ohne fremden Metallgehalt kann der Leitungswiderstand der Kupferdrähte sehr bedeutend variiren, je nachdem sie mehr oder weniger durch Kupferoxydul verunreinigt sind, welches sich beim Schmelzen des Kupfers in Berührung mit der Luft leicht bildet. Oxydulfreies Kupfer leitet den elektrischen Strom fast eben so gut wie Silber.

Auch der physikalische Zustand der Metalle ist von wesentlichem Einfluss auf ihren specifischen Leitungswiderstand. Weiche Drähte sind meist besser leitend als gehärtete. Ja für einen und denselben Draht nimmt der Leitungswiderstand etwas zu, wenn er längere Zeit zur Leitung starker Ströme dient.

Dass die Angaben für Legirungen, wie Messing und Neusilber, sehr bedeutend differiren, ist sehr begreiflich, da die Drähte, mit welchen verschiedene Physiker experimentirt haben, wohl sehr ungleich zusammengesetzt waren.

Wiedemann und Franz haben gezeigt, dass die elektrische Leitungsfähigkeit (der reciproke Werth des specifischen Leitungswiderstandes, also $c = \frac{1}{s}$, wenn mit c die Leitungsfähigkeit und mit s der Leitungswiderstand bezeichnet wird) sehr nahe in demselben Verhältnisse steht, wie ihre Leitungsfähigkeit für die Wärme, wie man aus folgender kleinen Tabelle sieht.

	Leitungsfähigkeit	
	thermische	elektrische
Silber	100	100
Kupfer	73,6	79,3
Zink	28,1	27,3
Zinn	14,8	17,0

Die besten Elektricitätsleiter sind also auch die besten Wärmeleiter.

Leitungswiderstand der Legirungen. Ueber die Leitungsfähigkeit der Metalllegirungen hat Matthiessen eine sehr umfangreiche Untersuchung angestellt (Pogg. Annal. CX). Er fand, dass die Metalle 88

hinsichtlich des Verhaltens ihrer Legirungen in zwei Classen getheilt werden können, nämlich

A. diejenigen Metalle, welche, wenn mit einander legirt, die Elektricität in dem Verhältniss ihrer relativen Volumina leiten;

B. diejenigen Metalle, welche legirt mit einem Metall der Classe *A* oder mit einander legirt, die Elektricität nicht im Verhältniss ihrer Volumina, sondern stets schlechter leiten.

Zur Classe *A* gehören: Blei, Zinn, Cadmium und Zink.

Zur Classe *B* gehören: Wismuth, Quecksilber, Antimon, Eisen, Aluminium, Gold, Kupfer, Silber u. s. w.

Als Beispiel des Verhaltens der Metalle der ersten Classe mögen die Zahlen der folgenden kleinen Tabelle dienen:

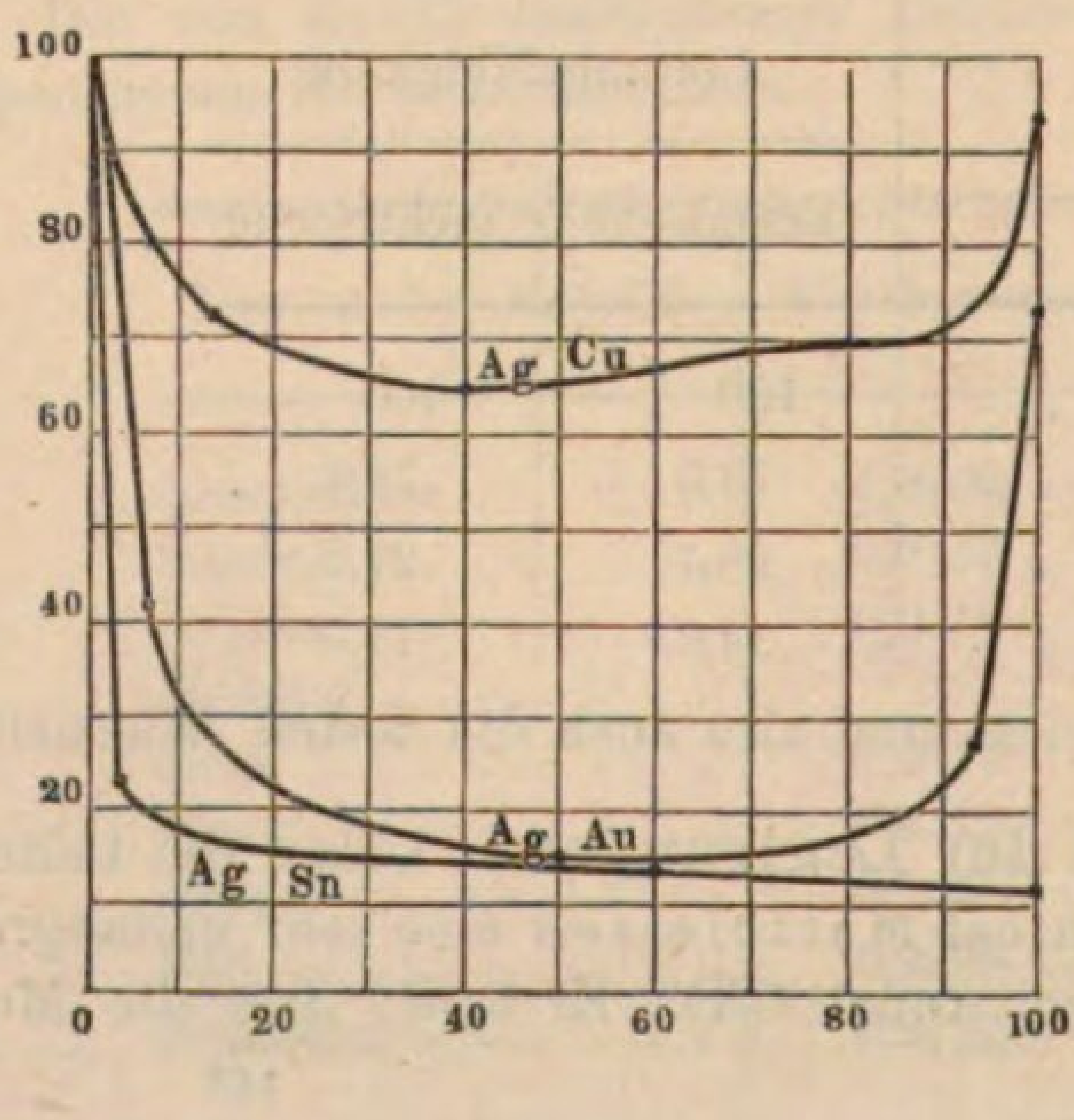
	Leitungsfähigkeit beob.	Leitungsfähigkeit berech.
100 Zink legirt mit 0 Vol.-Proc. Zinn . . .	27,4	27,4
69,6 „ „ „ 30,4 „ „ . . .	22,3	22,5
12,5 „ „ „ 87,5 „ „ . . .	13,2	13,4
0 „ „ „ 100 „ „ . . .	11,4	11,4

Die beobachtete Leitungsfähigkeit der Legirung ist also in der That sehr nahe gleich der berechneten.

Als Beispiel des Verhaltens, welches Legirungen zeigen, die aus einem Metall der zweiten Classe mit einem Metall der ersten bestehen, mag folgende Tabelle dienen:

	Leitungsfähigkeit beob.	Leitungsfähigkeit berech.
100 Silber legirt mit 0 Vol.-Proc. Zinn . . .	100	100
98 „ „ „ 2 „ „ . . .	23,0	98,2
39 „ „ „ 61 „ „ . . .	14,3	46,3
10 „ „ „ 90 „ „ . . .	11,5	20,1
0 „ „ „ 100 „ „ . . .	11,4	11,4.

Fig. 251.



Die Veränderung, welche die Leitungsfähigkeit des Silbers durch einen Zusatz von Zinn erleidet, wird durch die unterste Curve der Figur 251 anschaulich gemacht. Die Abscissen sind proportional den Volumprocenten des zugesetzten Zinns, die Ordinaten sind proportional der Leitungsfähigkeit der Legirung aufgetragen.

Man übersieht hier

leicht, wie rasch die Leitungsfähigkeit schon bei einem ganz geringen Zusatz von Zinn abnimmt, um dann bei wachsendem Zinngehalt allmälig bis zur Leitungsfähigkeit des reinen Zinns abzunehmen.

Für die meisten Legirungen von zwei Metallen der zweiten Classe ist es charakteristisch, dass die Leitungsfähigkeit eines jeden schon durch einen geringen Zusatz des andern bedeutend abnimmt, wie dies z. B. bei den Legirungen von Silber mit Gold und mit Kupfer der Fall ist und wie man aus der folgenden Tabelle ersieht.

				Leitungsfähigkeit beob.	Leitungsfähigkeit berech.
100	Silber legirt mit	0	Vol.-Proc. Gold . . .	100	100
94	„ „ „	6	„ „ . . .	41,2	98,4
80	„ „ „	20	„ „ . . .	21,0	94,6
50	„ „ „	50	„ „ . . .	14,6	86,5
6	„ „ „	94	„ „ . . .	26,4	74,5
0	„ „ „	100	„ „ . . .	73,0	73,0
100	Silber legirt mit	0	Vol.-Proc. Kupfer . .	100	100
98,0	„ „ „	2,0	„ „ . .	83,4	99,9
86,9	„ „ „	13,1	„ „ . .	67,5	99,1
61,1	„ „ „	38,9	„ „ . .	64,9	97,3
36,7	„ „ „	63,3	„ „ . .	68,0	95,7
10,0	„ „ „	90,0	„ „ . .	70,0	93,8
2,0	„ „ „	98,0	„ „ . .	79,4	93,3
0	„ „ „	100,0	„ „ . .	93,0	93,0.

In Fig. 251 stellt die mittlere Curve dar, wie die Leitungsfähigkeit einer Legirung von Silber und Gold von ihrer Zusammensetzung abhängt. Ebenso bezieht sich die oberste Curve auf die Legirungen von Silber und Kupfer.

Schon ein Gehalt von ungefähr $2^1/_2$ Volum-Procenten an Gold bringt die Leitungsfähigkeit des Silbers bis auf die des Goldes herab, bei fernerem Zusatz von Gold sinkt die Leitungsfähigkeit der Legirung rasch unter die Leitungsfähigkeit des Goldes, um für einen Gehalt von 50 Volum-Procenten Gold ein Minimum zu erreichen. Bei fernerer Zunahme des Goldgehaltes steigt dann die Leitungsfähigkeit der Legirung wieder, und zwar erst langsam, dann aber von ungefähr 94 Procent Goldgehalt an sehr rasch.

Ein ähnliches Verhalten zeigen die Legirungen von Silber und Kupfer, wie man sowohl aus obiger Tabelle, als auch aus der obersten Curve der Fig. 251 ersieht, nur sinkt hier das Minimum der Leitungsfähigkeit bei weitem nicht so tief, wie bei den Legirungen aus Silber und Gold.

**Einfluss der Temperatur auf den Leitungswiderstand 89
der Metalle.** Der specifische Leitungswiderstand der Metalle ändert sich mit der Temperatur und zwar steigt er, wenn die Temperatur wächst. Es ist dies leicht durch den Versuch nachzuweisen, man

braucht nur in den Schliessungsbogen eines constanten Rheomotors, etwa eines Bunsen'schen Bechers, die Tangentenbussole und ausserdem noch einen ungefähr 1 Meter langen und gegen 1 Millimeter dicken spiralförmig aufgewundenen Platin- oder Eisendraht einzuschalten. Die Tangentenbussole wird eine bestimmte Ablenkung zeigen. Erwärmt man nun den Draht mittelst einer starken Weingeist- oder Gaslampe, so geht die Nadel zurück, ein Beweis, dass der Widerstand des Drahtes zugenommen hat.

Um die Grösse des Leitungswiderstandes der Metalldrähte für verschiedene Temperaturen zu ermitteln, hat E. Becquerel den wohl übersponnenen Draht auf ein Glasröhrchen aufgewunden, mit einem Thermometer in ein mit Oel gefülltes Proberöhrchen getaucht und dann das Oel erwärmt. Nach seinen Bestimmungen ist der Leitungswiderstand für

Silber	$100 + 0{,}4022t$
Kupfer	$100 + 0{,}4097t$
Eisen	$100 + 0{,}4726t$
Platin	$100 + 0{,}1861t$
Quecksilber . . .	$100 + 0{,}1040t$

Nach Arndtsen ist er für

Neusilber	$100 + 0{,}0387t$
Messing	$100 + 0{,}1662t$

wenn man den Leitungswiderstand des Metalles bei 0^0 mit 100 bezeichnet und t die Anzahl der Celsius'schen Grade angiebt, um welche es über 0^0 erwärmt ist. Der specifische Leitungswiderstand eines Metalldrahtes bei t^0 ist demnach durch die Gleichung

$$s_t = s_0 \left(\frac{100 + at}{100}\right)$$

ausgedrückt, wenn man s_0 denselben für 0^0 bezeichnet. Setzt man z. B. für Eisen $s_0 = 5{,}88$, $a = 0{,}4726$, so ergiebt sich der specifische Leitungswiderstand des Eisens für 100^0 gleich 8,66.

Arndtsen (Pogg. Annal. LIV) fand für alle nicht legirten Metalle den Factor a sehr nahe gleich (und zwar zwischen 0,327 und 0,413) und vermuthet deshalb, dass er für ganz reine Metalle genau derselbe sei, eine Vermuthung, für welche auch Matthiessen's neuere Versuche sprechen (Pogg. Annal. CXV).

Nach Lenz und Matthiessen ist die Zunahme der Leitungsfähigkeit nicht genau der Temperaturzunahme proportional. Für 10 von ihm untersuchte Metalle findet er die Formel

$$s_t = s_0\,(1 - 0{,}0037674t + 0{,}00000834t^2).$$

Wenn diese Formel auch für höhere Temperaturen noch gültig wäre, so müsste die Leitungsfähigkeit aller Metalle für 226^0 ein Minimum sein und für 452^0 wäre sie wieder gleich der Leitungsfähigkeit bei 0^0.

Es ist dies nicht allein sehr unwahrscheinlich, sondern es steht auch im Widerspruch mit den Resultaten der Versuche, welche über den Leitungswiderstand glühender Drähte gemacht worden sind.

Nach Müller in Wesel ist der specifische Leitungswiderstand eines dunkelroth glühenden Eisendrahtes gleich 32, eines hellrothglühenden 48. Nach meinen Bestimmungen ist der Leitungswiderstand eines fast weissglühenden Eisendrahtes nahe 11mal so gross als bei gewöhnlicher Lufttemperatur.

Einheit des Leitungswiderstandes. Um vergleichbare Bestimmungen elektrischer Leitungswiderstände zu erzielen, muss man sich über eine Einheit des Leitungswiderstandes verständigen. 90

Jacobi schlug als solche vor: den Widerstand eines Kupferdrahtes von 1 Meter Länge und 1 Millimeter Durchmesser. Nach dieser Einheit gemessen ist der Leitungswiderstand eines Metalldrahtes, welcher l Meter lang ist und dessen Durchmesser d Millimeter beträgt,

$$R = s\,\frac{l}{d^2}$$

wenn s den specifischen Widerstand des Metalls, aus welchem der Draht besteht, in Beziehung auf Kupfer bezeichnet. Demnach ist der Leitungswiderstand eines 3 Meter langen, $0{,}4^{\mathrm{mm}}$ dicken Platindrahtes gleich $7{,}35\,\frac{3}{0{,}16} = 137$, wenn man als specifischen Leitungswiderstand des Platins den von Matthiessen ermittelten Werth nimmt, wie er in der ersten Tabelle a. S. 242 angegeben ist.

Einen nach dieser Einheit gemessenen Widerstand wollen wir allgemein mit $R\,\frac{\text{Meter}}{\text{Millimeter}}$ Cu bezeichnen; der Leitungswiderstand des eben besprochenen Platindrahtes wäre also $137\,\frac{\text{Meter}}{\text{Millimeter}}$ Cu.

Es ergab sich aber bald, dass Widerstandsmaasse, welche nach dieser Definition in verschiedenen Werkstätten angefertigt worden waren, bedeutende Differenzen zeigten, was nach den Bemerkungen am Schluss des vorigen Paragraphen kaum anders erwartet werden kann. Jacobi hat deshalb später diesen ersten Vorschlag vollständig fallen lassen und einen ganz willkürlich gewählten Kupferdraht (er war $7{,}62^{\mathrm{m}}$ lang, $0{,}667^{\mathrm{mm}}$ dick und war auf die flachen Schraubenwindungen eines Serpentincylinders aufgewunden), der nur durch Copiren vervielfältigt werden sollte, zum Widerstandsetalon bestimmt. Von diesem Etalon, der zu der $\frac{\text{Meter}}{\text{Millimeter}}$ Cu Einheit in gar keinem Zusammenhange steht, sandte Jacobi selbst mehrere Copien an verschiedene Physiker, in der Meinung, dass sie sich dieses Etalons als elektrischer Widerstandseinheit bedienen sollten. Andere Copien dieses Etalons sind von Leyser in Leipzig angefertigt worden. Es zeigte sich aber bald, dass verschiedene Copien dieses Etalons bis zu 8 Procent von einander differirten und dass selbst der Leitungswiderstand eines und desselben Exemplares nicht unverändert bleibt.

Jacobi ist deshalb auch von diesem zweiten Vorschlage zurückgekommen und hat sich für die sogleich zu besprechende Siemens'sche Quecksilbereinheit erklärt.

Weber hat diesen Uebelstand dadurch beseitigt, dass er die Leitungswiderstände auf ein absolutes, später noch näher zu besprechendes Maass bezieht. Nun ist aber einerseits die Definition dieses absoluten Widerstandsmaasses ziemlich complicirt, andererseits bedarf es zur experimentellen Bestimmung des Leitungswiderstandes gegebener Drähte nach absolutem Maass sehr vollkommener Instrumente und besonders dazu eingerichteter Locale, was einer allgemeineren Verbreitung desselben sehr im Wege steht. So werthvoll also auch die Weber'sche absolute Widerstandseinheit für die Wissenschaft ist, so ist es doch namentlich auch für technische Zwecke wünschenswerth, eine andere Widerstandseinheit zu besitzen, welche sich leicht und doch mit grosser Genauigkeit reproduciren lässt.

Diese Bedingungen erfüllt die Siemens'sche Quecksilbereinheit. Siemens schlägt nämlich vor, eine Quecksilbersäule von 1 Meter Länge und 1 Quadratmillimeter Querschnitt bei 0° C. zur Widerstandseinheit zu nehmen. Diese Einheit hat den grossen Vorzug, dass man das Quecksilber stets in genügender Reinheit erhalten kann, dass es unabhängig ist von den Verschiedenheiten der Molekularzustände, welche feste Körper zeigen, und dass der Leitungswiderstand des Quecksilbers sich sehr wenig ändert, wenn die Temperatur steigt.

Um eine Quecksilbersäule herzustellen, bringt man dasselbe in ein möglichst cylindrisches Glasrohr, welches bei horizontaler Lage auf jeder Seite in ein Quecksilbergefäss einmündet. In diese Quecksilbergefässe werden die dicken kupfernen Zuleitungsdrähte eingetaucht.

Bezeichnen wir die Länge des Rohres mit l, seinen Halbmesser mit r, so ist der Leitungswiderstand der darin enthaltenen Quecksilbersäule

$$R = \frac{l}{\pi r^2}$$

wenn l in Metern, r in Millimetern ausgedrückt ist, oder

$$R = \frac{0{,}001\, l}{\pi r^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

wenn r und l in Millimetern ausgedrückt sind.

Der Cubikinhalt der Röhre ist aber $V = \pi r^2 l$, also das in Milligrammen ausgedrückte Gewicht des darin enthaltenen Quecksilbers $G = \pi r^2 l \sigma$, wenn σ das specifische Gewicht des Quecksilbers bezeichnet und r und l in Millimetern ausgedrückt sind, daraus aber folgt

$$r^2 = \frac{G}{\pi l \sigma}$$

und wenn man diesen Werth von r^2 in Gleichung 1) setzt

$$R = \frac{l^2 \sigma}{1000\, G} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

wonach man leicht den Leitungswiderstand R der Quecksilbersäule berechnen kann, wenn man die Länge l des Glasrohres gemessen und das Gewicht G des darin enthaltenen Quecksilbers bestimmt hat.

Nun aber ist wohl kaum eine Glasröhre zu finden, welche vollkommen cylindrisch ist; die Gleichung 2) bedarf deshalb noch einer Correction. Wie Siemens gezeigt hat (Pogg. Annal. CX) ist der genaue Werth des fraglichen Leitungswiderstandes

$$R = \frac{l^2 \sigma}{1000\, G} \cdot \frac{1 + \sqrt{a} + \frac{1}{\sqrt{a}}}{3} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 3)$$

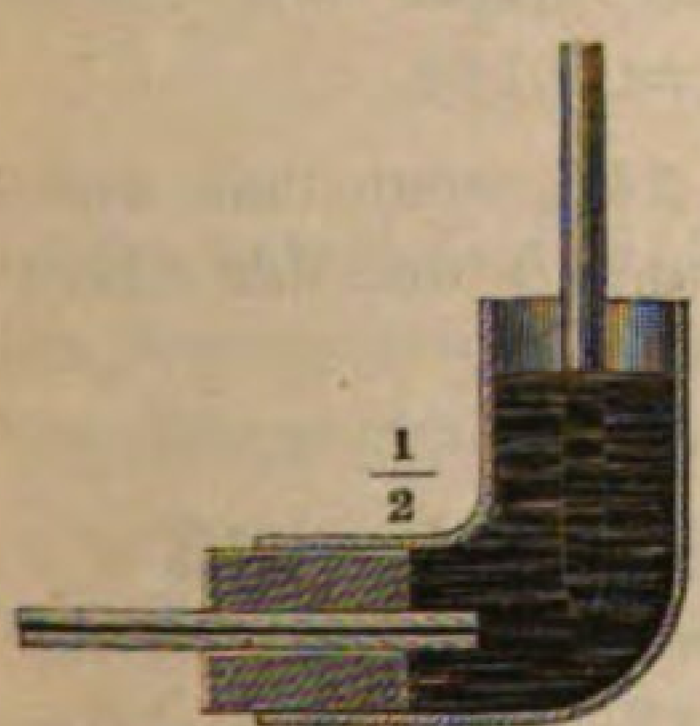
wenn a die Zahl ist, welche angiebt, wie viel mal der grösste Querschnitt der Röhre grösser ist als der kleinste. Um die Zahl a zu erhalten, lässt man einen Quecksilberfaden nach und nach von einem Ende der Röhre zum andern laufen und misst die Länge, die er an verschiedenen Stellen der Röhre einnimmt. Ist λ die grösste und λ' die kleinste Länge des Quecksilberfadens, so ist

$$a = \frac{\lambda}{\lambda'}.$$

Wo es nicht auf sehr grosse Genauigkeit ankommt, kann übrigens der Correctionsfactor der Gleichung 3) ganz vernachlässigt werden, da er für ziemlich stark konische Röhren, für welche $\frac{\lambda}{\lambda'} = 1{,}3$ ist, erst den Werth 1,006 erreicht.

Jedes Ende des Glasrohres führte Siemens mittelst Kautschukverschlusses in ein weiteres, kurzes und rechtwinklig umgebogenes Glasrohr ein, welches mit Quecksilber gefüllt zur Aufnahme der dicken, kupfernen Zuleitungsdrähte dient, wie es Fig. 252 erläutert. Ist diese Vorrichtung in den Schliessungsbogen des Rheomotors eingeschaltet, so besteht der Widerstand, welchen sie dem Strom bietet, aus dem Widerstand des Quecksilberfadens im Glasrohr und dem Ausbreitungswiderstand, welchen der Strom in jedem der beiden Zuleitungsgefässe zu überwinden hat, um von der Mündung des Rohres zu dem kupfernen Zuleitungsdraht zu gelangen. Wie Siemens gezeigt hat, ist die Summe des Ausbreitungswiderstandes in beiden Zuleitungsgefässen gleich dem Widerstand einer Quecksilbersäule, welche bei gleichem Querschnitt mit dem engen Glasrohr so lang ist wie der Radius desselben. Wo es also nicht auf grosse Genauigkeit ankommt, kann dieser Ausbreitungswiderstand ganz vernachlässigt werden.

Fig. 252.



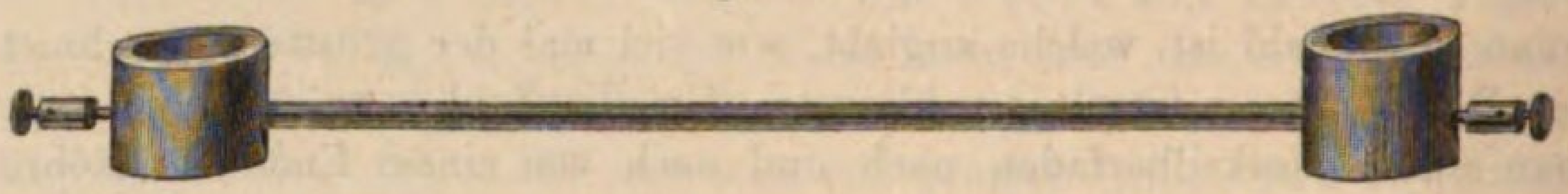
Um nach der Ohm'schen Methode den specifischen Leitungswiderstand verschiedener Metalle, auf Quecksilber bezogen, zu bestimmen,

wandte ich ein Glasrohr an, dessen Länge l 800 Millimeter betrug und welches 48727 Milligramm Quecksilber fasste. Nach Siemens'schem Maass war also der Leitungswiderstand der Quecksilbersäule in diesem Rohre

$$R = \frac{800^2 \cdot 13,598}{1000 \cdot 48727} = 0,1786$$

Um dieses Rohr bequem in den Schliessungsbogen des Rheomotors einschalten zu können, wurden an seinen beiden Enden hölzerne Quecksilbergefässe angesteckt, wie Fig. 252 a zeigt. In jedes dieser Gefässe

Fig. 252 a.



ist gerade der Mündung des Glasrohres gegenüber ein dicker, mit einer Klemmschraube versehener Kupferdraht eingesteckt, welcher sich etwas verschieben lässt, ohne dass doch Quecksilber neben ihm ausfliessen kann. Um das Rohr mit Quecksilber zu füllen, werden die beiden Kupferdrähte etwas zurückgezogen, und wenn die Füllung vollendet ist, werden sie wieder bis an die Mündung der Glasröhre eingeschoben.

Als dieses Quecksilberrohr mit der Tangentenbussole in den Schliessungsbogen eines Bunsen'schen Bechers eingeschaltet war, stellte sich die Nadel der Tangentenbussole auf $23,35^0$, während die Ablenkung auf $31,4^0$ stieg, als das Rohr aus dem Schliessungsbogen entfernt, auf $8,3^0$ aber zurückging, als an seiner Stelle ein Silberdraht von 8 Meter Länge und 0,339 Millimeter Dicke eingeschaltet wurde. Wir haben also für die Einschaltung

0	die Stromstärke	$J = 0,610$
des Quecksilberrohres	„ „	$J' = 0,432$
des Silberdrahtes	„ „	$J'' = 0,146$

Danach ergiebt sich nach Gleichung 1) auf S. 240, wenn man mit a den Leitungswiderstand des Quecksilberrohres und mit b den des Silberdrahtes bezeichnet

$$b = \frac{432}{146} \cdot \frac{463}{178} \cdot a = 7,696\, a$$

da aber der Leitungswiderstand a unseres Quecksilberrohres nach der Siemens'schen Einheit gleich 0,1786 ist, so ist

$$b = 7,696 \cdot 0,1786 = 1,367.$$

(Nach derselben Methode fand ich den Leitungswiderstand einer Leyser'schen Copie des Jacobi'schen Etalons nach Siemens'scher Einheit gleich 0,626, während Siemens für eine andere Copie dieses Etalons 0,6618 gefunden hatte.)

Nach seinen Dimensionen berechnet ist der Leitungswiderstand des oben besprochenen Silberdrahtes

$$b = s \frac{8}{\pi (0,1695)^2}$$

es ergiebt sich also, wenn wir für b den obigen Werth setzen, der specifische Leitungswiderstand des Silbers auf Quecksilber bezogen,

$$s = \frac{1,367 \;.\; 3,1415\;(0,1659)^2}{8} = 0,0154$$

der Zahlenwerth, wie er sich in der letzten Columne der Tabelle auf S. 242 findet. Nach der gleichen Methode sind auch die übrigen Zahlen dieser Columne bestimmt worden und zwar ohne Correction wegen der ungleichförmigen Weite des Rohres, der Temperatur u. s. w. Die von Matthiessen und Siemens angegebenen Zahlenwerthe sind nach anderen Methoden ermittelt worden und zwar unter Berücksichtigung aller irgend nöthigen Correctionen.

Die folgende kleine Tabelle enthält eine vergleichende Zusammenstellung der verschiedenen Widerstandseinheiten.

Weber's absolutes Maass $10^7 \frac{\text{Meter}}{\text{Secunde}}$	Siemens Quecksilber-Einheit $\frac{\text{Meter}}{\text{Quadr.-Millimeter}}$ Hg	Jacobi Kupfer-Einheit $\frac{\text{Meter}}{\text{Millimeter}}$ Cu	Jacobi Etalon.
1	0,9556	41,105	1,444
1,046	1	43,015	1,511
0,0243	0,0232	1	0,035
0,6925	0,6618	29,791	1

Von der Weber'schen Einheit kann erst später die Rede sein. Was die Zahlenwerthe für die Jacobi'sche Kupfereinheit betrifft, so beziehen sie sich auf Kupfer, dessen specifischer Leitungswiderstand

$$0,0182 \frac{\text{Meter}}{\text{Quadr.-Mill.}} \text{Hg}$$

ist (s. Tabelle auf S. 242). Für andere Kupferdrähte könnten die Zahlen der dritten Verticalreihe sowohl wie die der dritten Horizontalreihe von den gegebenen bedeutend verschieden werden.

Rheostate und Widerstandssäulen. Um den Leitungswiderstand in dem Schliessungsbogen einer Volta'schen Säule stetig ändern zu können, haben Wheatstone, Jacobi, Poggendorff u. A. Apparate construirt, welche wir Rheostate nennen wollen. Fig. 253 und Fig. 254 (a. f. S.) stellen eine der zweckmässigsten im Wesentlichen von Wheatstone herrührenden Formen des Rheostats dar, und zwar ein Rheostat für dickeren Draht. Auf eine Walze von Serpentin oder Marmor ist eine Schraubenlinie ganz flach eingeschnitten und auf diese ein Metalldraht (Kupfer, wenn es sich um geringere, Neusilber, wenn es sich um bedeutendere Widerstände handelt) von $^1/_2$ bis 1 Millimeter Durchmesser auf- 91

gewickelt, dessen Ende, auf der rechten Seite in die Masse des Cylinders eintretend, bis zur metallenen Axe desselben fortgeführt und hier aufgelöthet ist.

Fig. 253.

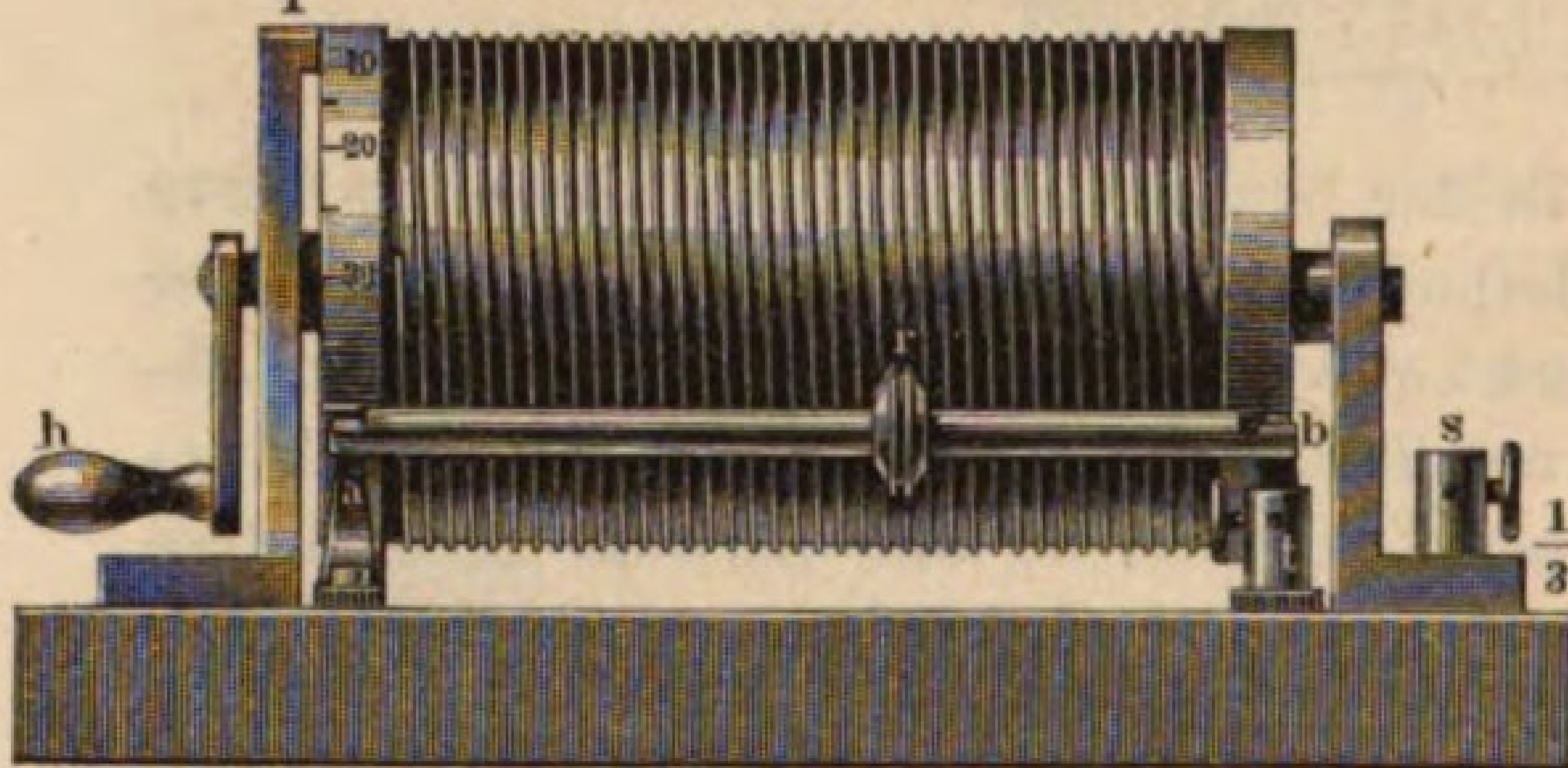
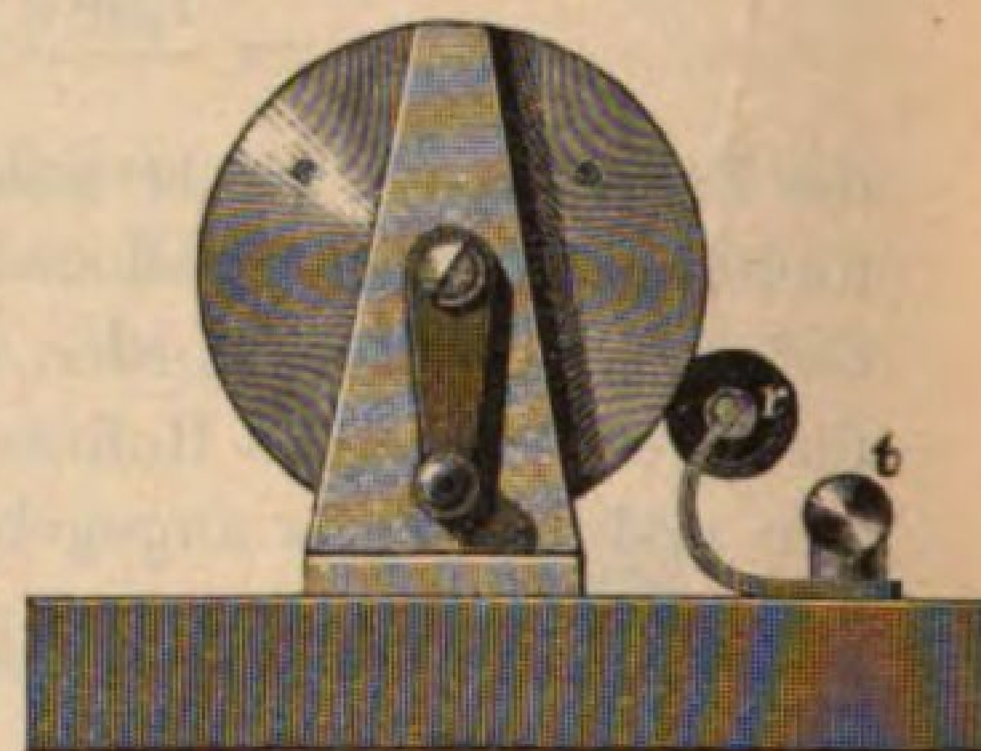


Fig. 254.



Gegen diesen Schraubendraht wird nun ein messingenes Röllchen *r* angedrückt, welches mit einer, der Dicke des Drahtes entsprechenden Rinne versehen ist. Es ist auf einem Metallstab *ab* verschiebbar, welcher an seinen beiden Enden auf starke Federn aufgeschraubt ist, die ihn gegen den Serpentincylinder hin drücken, wie dies aus Fig. 254 deutlicher zu ersehen ist, welche den Apparat von der Seite der Kurbel *h* aus gesehen herstellt.

Es ist nun klar, dass wenn die Kurbel *h* gedreht wird, alsdann die Rolle *r*, den Schraubenwindungen des Drahtes folgend, auf dem Stäbchen *ab* nach der einen oder nach der anderen Seite fortgeschoben wird, je nachdem man die Kurbel nach der Rechten oder nach der Linken dreht.

Wenn nun dieses Instrument in der Weise in den Schliessungsbogen eines galvanischen Rheomotors eingeschaltet wird, dass der eine Zuleitungsdraht in das Messingsäulchen bei *s*, der andere in das Messingsäulchen bei *t* eingeschraubt wird, so gelangt der bei *s* eintretende Strom von da durch den messingenen Träger zur metallenen Axe des Steincylinders (die aber nicht durchgeht), von dieser auf den Draht, welcher auf den Cylinder aufgewickelt ist, und durchläuft dessen Windungen bis zur Rolle *r*, von welcher er dann über *b* zum Messingsäulchen *t* gelangt. Je nachdem man also durch Drehen mittelst der Kurbel *h* das Röllchen an eine andere Stelle des Drahtes bringt, kann man bewirken, dass der Strom eine grössere oder geringere Anzahl von Windungen dieses Drahtes durchläuft.

Der Stab *ab* ist mit einer Theilung in der Art versehen, dass jeder Theilstrich einer Windung des Drahtes entspricht und dass das Röllchen auf dem Nullpunkt dieser Theilung steht, wenn seine Rinne gerade auf dem Anfangspunkte der Windungen, auf der rechten Seite des Cylinders aufsitzt. — Um noch Unterabtheilungen der Windungen ablesen zu können, ist die messingene Fassung des Steincylinders in 100 gleiche Theile getheilt und diese Theilung wird an einem Index bei *i* abgelesen.

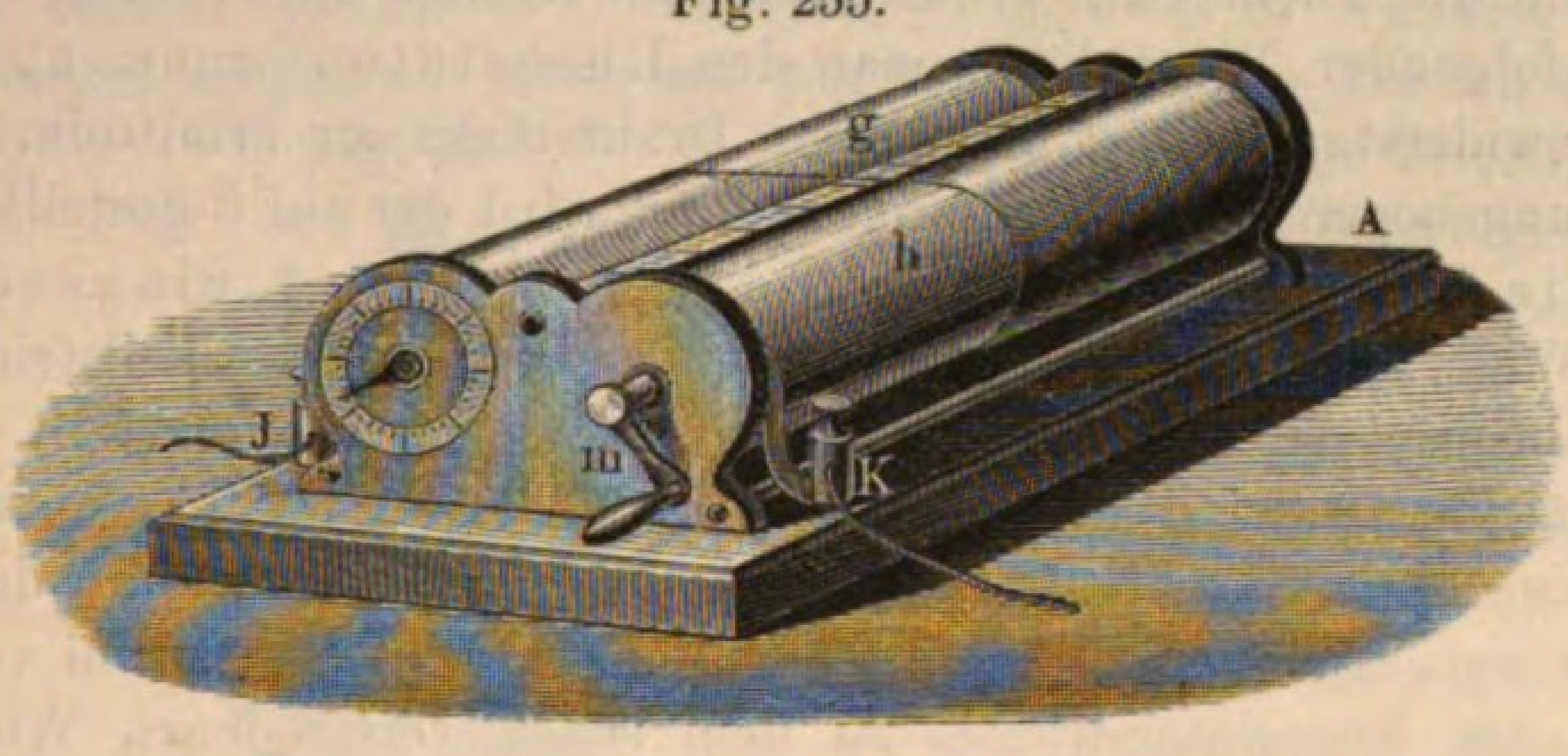
Nehmen wir an, in den durch möglichst kurze und dicke Kupferdrähte

hergestellten Schliessungsbogen irgend eines Rheomotors, etwa eines einfachen Zinkkohlenbechers, sei nur noch eine Tangentenbussole und das auf Null gestellte Rheostat Fig. 253 eingeschaltet, so wird die Tangentenbussole eine gewisse Ablenkung zeigen, welche mehr und mehr abnimmt, wenn das Rheostat so gedreht wird, dass das Röllchen *r* auf 10, 20, 30 u. s. w. steht, weil nun ausser dem anfänglichen Widerstande noch der von 10, 20, 30 Umwindungen zu überwinden ist. Wenn man die einer jeden Stellung des Röllchens entsprechende Ablenkung notirt, so lassen sich mit dem Rheostat auf die bequemste Weise die in §. 84 besprochenen Versuche anstellen.

Um die durch Rheostatenwindungen gemessenen Widerstände nach irgend einer bestimmten Widerstandseinheit angeben zu können, muss man ermitteln, wie gross der Leitungswiderstand einer Rheostatenwindung, nach dieser Einheit gemessen, ist.

In Fällen, wo der Gesammtwiderstand der Kette sehr gross ist, würde man bedeutende Längen des dickeren Drahtes ab- oder aufwickeln müssen, um eine merkliche Aenderung der Stromstärke zu erzielen. In solchen Fällen muss man deshalb einen Rheostaten mit dünnem Draht anwenden. Fig. 255 stellt Wheatstone's Rheostat mit dünnem Draht dar. Es

Fig. 255.



ist *g* ein Cylinder von trockenem Holze, ungefähr 6 Zoll lang und $1\frac{1}{2}$ Zoll im Durchmesser; *h* ist ein Cylinder von Messing, welcher dieselben Dimensionen hat. Die Axen beider Cylinder sind einander parallel. Auf dem Holzcylinder ist ein flaches Schraubengewinde eingeschnitten, und an einem seiner Enden (dem vorderen unserer Figur) trägt derselbe einen Messingring, an welchem das eine Ende eines langen sehr dünnen Drahtes angelöthet ist. Dieser wird auf dem Holzcylinder so aufgewickelt, dass er die sämmtlichen Schraubengänge ausfüllt, und dann mit seinem anderen Ende auf dem jenseitigen Ende des Messingcylinders befestigt. Die zum Einschrauben der Zuleitungsdrähte bestimmten Messingsäulchen *J* und *K* sitzen auf Metallfedern, von denen die eine gegen das vordere Ende des Messingcylinders *h*, die andere gegen den Messingring am vorderen Ende des Holzcylinders *g* drückt. Die abnehmbare Kurbel *m* dient zum Drehen der Cylinder um ihre Axen. Steckt man sie auf den Cylinder *h* und dreht nach der Rechten, so wird der Draht vom Holzcylinder *g* auf den

Messingcylinder gewickelt; steckt man sie dagegen auf die Axe des Cylinders *g* und dreht man nach der Linken, so geschieht das Umgekehrte. Die Drahtwindungen bedecken nun den vorderen Theil des Holzcylinders *g* und den hinteren Theil des Messingcylinders *h*. Da die Windungen auf dem Holzcylinder isolirt sind und durch die in das Holz geschnittenen Schraubengänge von einander entfernt gehalten werden, so durchläuft der Strom ihrer ganzen Länge nach die Windungen des Drahtes, welche auf dem vorderen Theil von *g* aufgewickelt sind. Auf dem Messingcylinder *h* aber, wo die Drahtwindungen nicht mehr isolirt sind, geht der Strom von der Stelle, wo der Draht mit dem Messingcylinder in Berührung kommt, sogleich zu der Feder bei *K*. Der als Widerstand wirksame Theil des Drahtes ist also das veränderliche Stück desselben, welches sich auf dem Holzcylinder befindet, sammt dem Stückchen, welches die Verbindung zwischen den zwei Cylindern bildet.

Von den Schraubengängen des Holzcylinders gehen 40 auf einen Zoll. Der Draht ist von Messing und hat 0,01 Zoll im Durchmesser. Zur Zählung der abgewickelten Windungen ist eine Scala zwischen den beiden Cylindern angebracht, die Bruchtheile einer Windung aber werden mittelst eines Zeigers bestimmt, welcher an der Axe des Cylinders *g* befestigt auf die Theilstriche eines getheilten Kreises hinweist.

In folgender Weise kann man den Rheostaten benutzen, um den Leitungswiderstand eines gegebenen Drahtstücks zu ermitteln. In den Schliessungsbogen eines constanten Bechers wird der auf 0 gestellte Rheostat, die Tangentenbussole und der Draht *A* eingeschaltet, dessen Widerstand ermittelt werden soll, und dann der Theilstrich *n* der Bussole beobachtet, auf welchen sich die Bussolennadel einstellt. Nimmt man nun den Draht *A* aus dem Schliessungsbogen heraus, so wird die Nadel eine grössere Ablenkung zeigen, und um sie wieder auf den Theilstrich *n* zurückzubringen, muss man eine bestimmte Anzahl von Windungen des Rheostatendrahtes zu dem schon vorhandenen Widerstand hinzufügen. Man erfährt auf diese Weise, wie gross der Widerstand des fraglichen Drahtes ist, ausgedrückt in Windungen des Rheostaten.

Für genauere Untersuchungen mehr geeignet als das oben beschriebene Rheostat ist Poggendorff's Rheocord, Fig. 256. Zwei Platin-

Fig. 256.



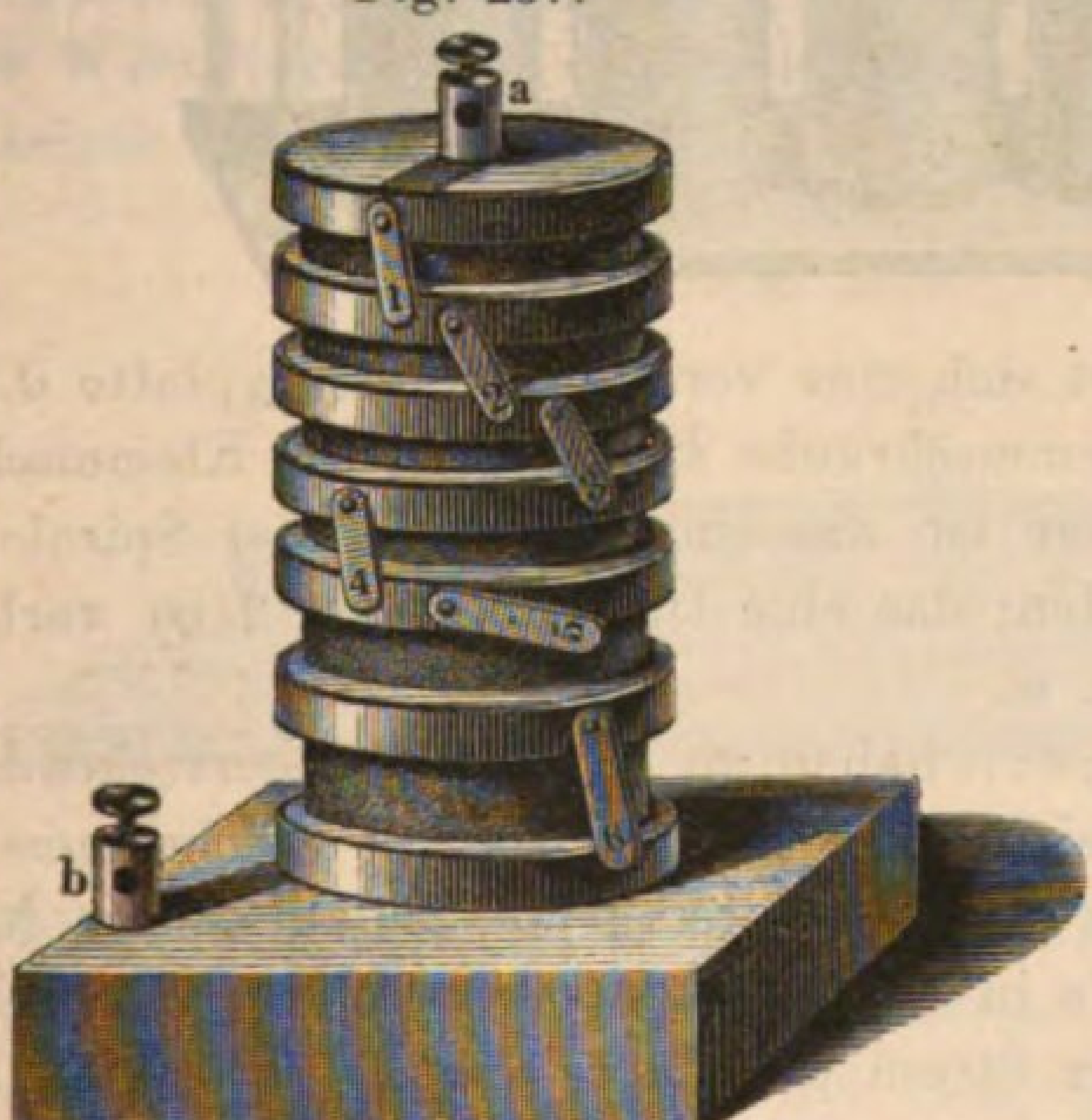
drähte *a* und *b* sind über ein Brett so ausgespannt, dass zwischen ihnen nur durch das sogleich zu besprechende Stück *k* eine leitende Verbindung

besteht. Einerseits sind sie in die kupfernen Lager *c* und *d*, andererseits sind sie in die Lager *e* und *f* eingeklemmt. Der Schieber *k* enthält ein viereckiges Kästchen von Eisenblech, dessen nach den Lagern gekehrte Seiten durch Scheiben von Glas oder Elfenbein gebildet sind. Die Drähte *a* und *b* sind durch kleine, sie gerade hindurchlassende Löcher in diesen Scheiben hindurchgezogen. Das Kästchen ist mit Quecksilber gefüllt. Sind nun in die Lager *c* und *d* die Poldrähte eines galvanischen Rheomotors eingeklemmt, so geht der Strom von *c* durch den Draht *a* zum Kästchen *k*, dann durch das Quecksilber in demselben zum Draht *b* und endlich durch den Draht *b* nach dem Lager *d*. Durch Verschiebung des Kästchens wird die Länge der durchströmten Drahtstücke geändert und man kann dieselbe auf einem messingenen Maass-Stab ablesen, welcher aber mit den Lagern, zwischen denen die Drähte ausgespannt sind, nicht in leitender Berührung sein darf.

In manchen Fällen, wo es sich nicht um eine stetige Aenderung des Leitungswiderstandes, sondern darum handelt, der Reihe nach verschiedene bekannte Widerstände in den Schliessungsbogen einzuschalten, ist der folgende von Eisenlohr construirte Apparat, den wir die Widerstandssäule nennen wollen, sehr bequem.

Er besteht aus einem Holzcylinder, Fig. 257, in welchem ringsum Vertiefungen eingedreht sind; auf den hervorragenden Theilen sind Messingringe befestigt. Zwei solcher Messingringe können durch ein bewegliches Brückchen von starkem Messing verbunden werden. In den Vertiefungen befinden sich die Windungen eines mit Seide übersponnenen Drahtes; das eine Ende desselben ist an den nächst oberen, das andere an den nächst unteren Messingring angelöthet.— Wenn zwischen je zwei Ringen die Brückchen herabgeschlagen, und in die beiden Klemmschrauben *a* und *b* die von dem Rheomotor kommenden Zuleitungsdrähte eingeschraubt sind, so geht der Strom von einem Ringe zum anderen über, ohne dass auf diesem Wege ein merklicher Widerstand zu überwinden wäre. Schlägt man aber ein Brückchen auf, wie es z. B. in unserer Figur für das Brückchen Nro. 5 gezeichnet ist, so muss der Strom, um vom fünften zum sechsten Messingring zu gelangen, die zwischen ihnen befindlichen Drahtwindungen ihrer ganzen Länge nach durchlaufen; durch das Aufschlagen eines Brückchens wird also der Widerstand

Fig. 257.



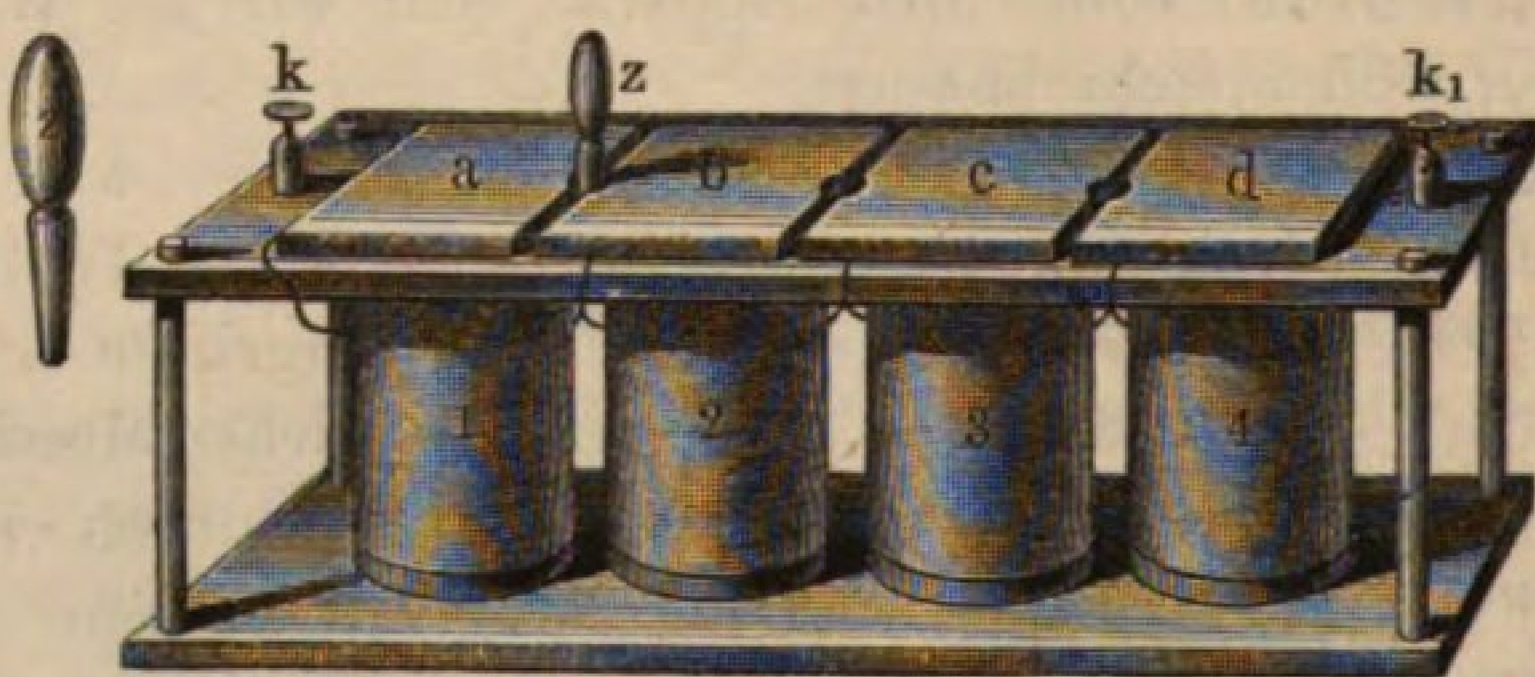
des entsprechenden Drahtstückes in den Schliessungsbogen der Kette eingeschaltet.

Es ist zweckmässig, zwei solcher Apparate zu haben, von denen jeder 9 Drahtabtheilungen hat. Die Drahtstücke des ersten haben nach irgend einer der oben definirten Einheiten die Widerstände 1, 2, 3 u. s. w. bis 9; die Drahtstücke des zweiten haben die Widerstände 10, 20, 30 u. s. w. bis 90.

Was die Dimensionen einer solchen Widerstandssäule betrifft, so hängen sie natürlich von den Dimensionen des Drahtes ab, den man zu ihrer Construction verwenden will. Für geringere Widerstände wendet man Widerstandssäulen von dickerem Kupferdraht, für bedeutendere Widerstände aber solche von dünnerem Neusilberdraht an. Matthiessen empfiehlt hart gezogenen Draht aus einer Legirung von 2 Gewichtstheilen Gold und 1 Theil Silber.

Man kann auch Spiralen, deren Widerstände sich wie 1, 2, 3 ... verhalten, neben einander zwischen zwei Brettern aufstellen, Fig. 258. Ueber

Fig. 258.



jeder dieser Spiralen befindet sich eine vergoldete Messingplatte a, b, c .. Mit der Platte a ist die Klemmschraube k, mit d ist die Klemmschraube k_1 leitend verbunden. Ferner ist das eine Drahtende der Spirale 1 mit a, das andere mit b verbunden; das eine Drahtende von 2 ist verbunden mit b, das andere mit c u. s. w.

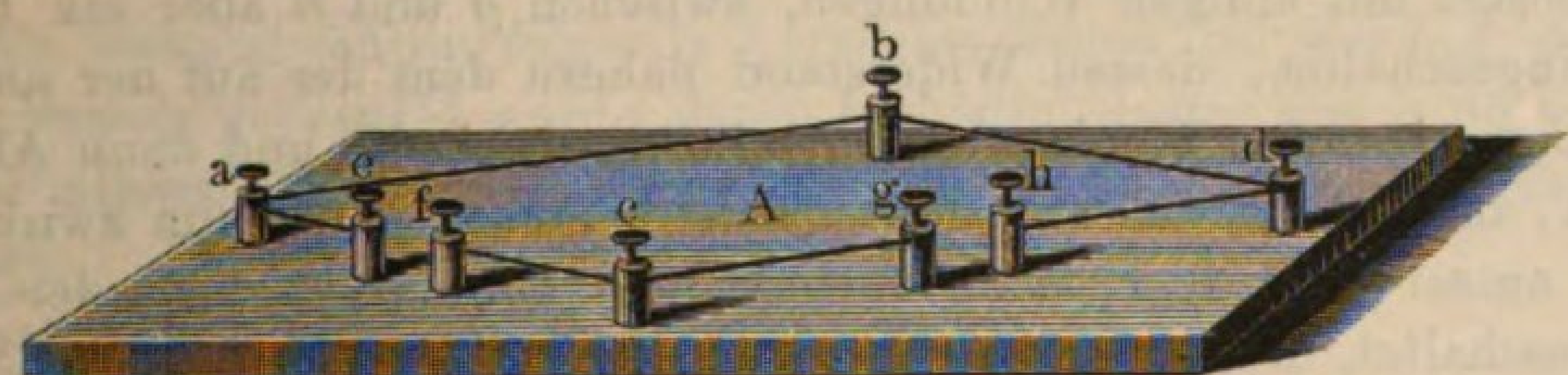
Die Messingplatten a, b, c ... haben an ihren gegenüberstehenden Seiten correspondirende halbkreisförmige Ausschnitte, in welche messingene und vergoldete Zapfen z mit starker Reibung eingesetzt werden können. Sind die Poldrähte der Säule in k und k_1 eingeschraubt und alle Zapfen ausgezogen, so durchläuft der Strom der Reihe nach die Spiralen 1, 2, 3 und 4. Wird ein Zapfen zwischen a und b eingesetzt, so geht der Strom direct von a nach b über, ohne die Spirale 1 zu durchlaufen. Um die Spirale 3 auszuschalten, müsste man einen Zapfen zwischen c und d einsetzen u. s. w.

92 **Differential-Widerstandsmesser.** Die oben besprochene Methode, den Leitungswiderstand zu bestimmen, kann allerdings sehr genaue Resultate liefern, wenn die Versuche mit der nöthigen Umsicht ausgeführt werden; sie setzt aber voraus, dass man eine Stromquelle habe, deren

elektromotorische Kraft und deren Widerstand, während der ganzen Dauer des Versuchs ungeändert bleibt (weshalb man das Zink der Säule in stark verdünnte Säure oder in eine Auflösung von Zinkvitriol stellen muss). Sie ist ferner nur für Drähte von verhältnissmässig geringerem Widerstand anwendbar, weil längere dünne Drähte durch starke Ströme erwärmt werden, für schwächere Ströme aber die Ablenkungen der Tangentenbussole zu gering ausfallen. Man hat sich deshalb nach anderen Methoden umgesehen, welche von den oben angedeuteten Uebelständen der Ohm'schen Methode frei sind. Die besten dieser Methoden stimmen darin überein, dass man den Strom des Rheomotors in zwei Zweige theilt, deren Ströme in gleicher Weise, aber in entgegengesetzter Richtung um die Nadel herumgeführt werden. Sind die beiden Ströme vollkommen gleich, so bleibt die Nadel auf dem Nullpunkt der Theilung stehen, während sogleich eine Ablenkung erfolgt, wenn der eine Strom nur im mindesten überwiegt. Bei derartigen Versuchen wendet man aber anstatt der Tangentenbussole den später noch näher zu besprechenden ungleich empfindlicheren Multiplicator (Galvanometer) an, bei welchem der Strom nicht in einem weiten Kreise, sondern in vielen engen Windungen um die Magnetnadel herumgeführt wird.

Auf dieses Princip gründet sich unter anderen Wheatstone's Differential-Widerstandsmesser, ein Apparat, der auch unter dem Namen der Wheatstone'schen Brücke bekannt ist. Fig. 259 stellt denselben in seiner einfachsten Form dar. Auf einem Brett, etwa 14 Zoll lang

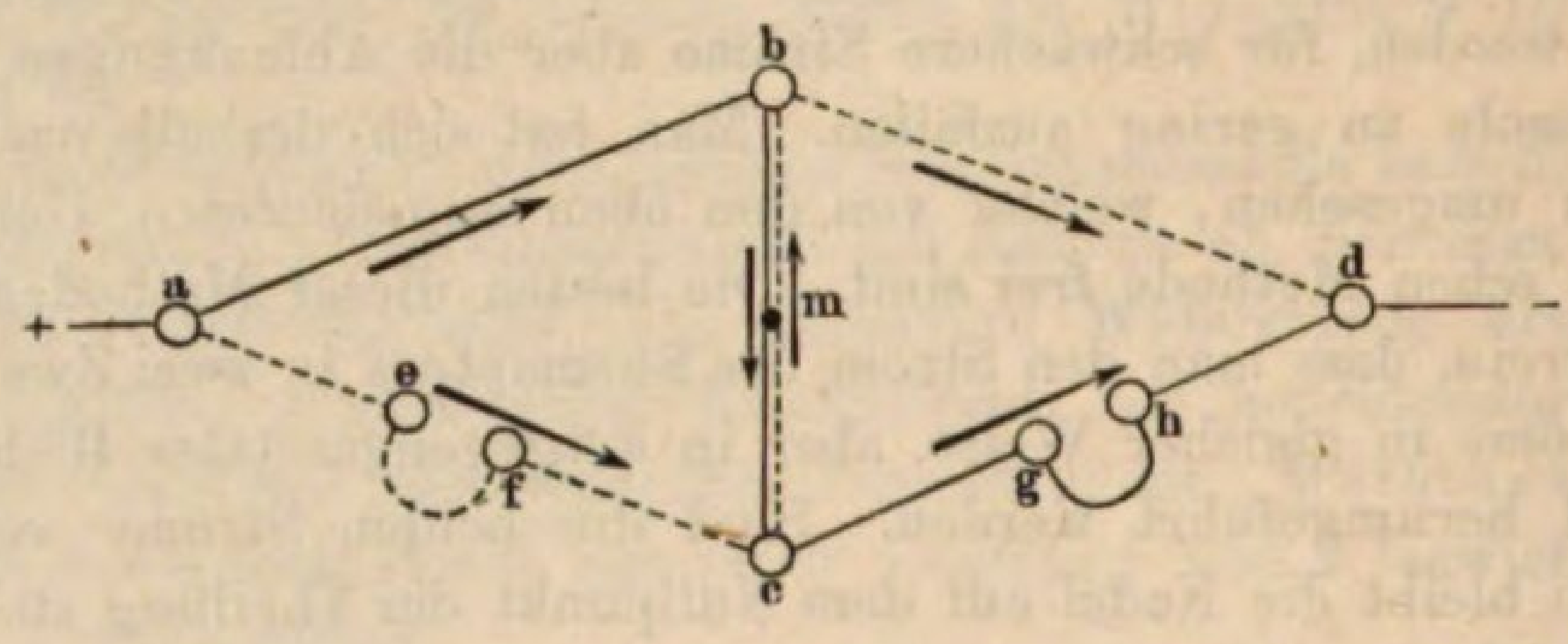
Fig. 259.



und 4 Zoll breit, sind, ein Parallelogramm bildend, die Messingsäulchen a, b, c und d befestigt; ferner noch zwischen a und c die Messingsäulchen e und f, zwischen c und d die Messingsäulchen g und h. Diese Säulchen, welche mit Klemmschrauben versehen sind, damit man Drähte in sie einschrauben kann, sind durch Drähte verbunden, wie man in der Figur sieht. — In a ist nun der eine, in b ist der andere Poldraht des Elektromotors eingeschraubt, während die beiden Drahtenden des Multiplicatordrahtes in den Säulchen b und c eingeschraubt sind. Wenn nun auch ein Drahtstück zwischen e und f, ein anderes zwischen g und h eingeschaltet wird, so verzweigen sich die Ströme in mannigfacher Art, wir haben aber nur die Stromzweige zu betrachten, welche durch den zwischen b und c eingeschalteten Multiplicator m gehen.

Ein Stromzweig geht nun von *a* nach *b*, von da durch den Multiplicator *m* nach *c* und von da über *g* und *h* nach *d*, wie es in Fig. 260 durch die ausgezogenen Linien angedeutet ist. Ein anderer Stromzweig,

Fig. 260.



welcher den Multiplicator in entgegengesetzter Richtung durchläuft, geht von *a* über *e* und *f* nach *c*, von *c* durch *m* nach *b* und endlich von *b* nach *d*, wie es die punktirten Linien andeuten. Sind nun die Leitungswiderstände der Drahtleitungen *abcghd* und *aefcbd* vollkommen gleich, so sind es auch die beiden Ströme, welche den Multiplicator in entgegengesetzter Richtung durchlaufen, die Nadel wird also auf dem Nullpunkte stehen bleiben. Der geringste Unterschied im Leitungswiderstande der beiden Stromkreise macht aber, dass die Nadel sogleich nach der einen oder anderen Seite vom Nullpunkt abweicht.

Um mit dieser Vorrichtung den Widerstand eines Drahtes in Windungen des Rheostaten ausgedrückt zu erhalten, wird zwischen *e* und *f* der Rheostat mit einigen Windungen, zwischen *g* und *h* aber ein Drahtstück eingeschaltet, dessen Widerstand nahezu dem des auf der anderen Seite eingeschalteten Theiles des Rheostaten gleich ist und dann Alles so regulirt, dass die Nadel auf 0 zu stehen kommt. Wird nun zwischen *g* und *h* ausser dem hier schon vorhandenen Drahtstück noch der Draht *A* eingeschaltet, dessen Widerstand man ermitteln will, so hat man auf der anderen Seite eine Reihe von *n* Rheostatenwindungen einzuschalten um die Nadel wieder auf 0 zurückzubringen. Diese Zahl *n* der noch einzuschaltenden Umgänge des Rheostatendrahtes ist das Maass für den Leitungswiderstand des Drahtes *A*.

Nach dieser Methode hat Siemens den Leitungswiderstand verschiedener Drähte mit der von ihm vorgeschlagenen Quecksilbereinheit verglichen, doch waren Rheostat und Brücke, welche er zu einem Apparat vereinigte, in ganz anderer Weise construirt, als die oben beschriebenen Apparate.

93 **Die Constanten galvanischer Rheomotoren.** Um den Effect beurtheilen zu können, welchen man von irgend einer galvanischen Combination zu erwarten hat, muss man nothwendig die Constanten

derselben, nämlich ihre elektromotorische Kraft und ihren wesentlichen Widerstand kennen.

Die einfachste Methode zur Ermittelung dieser Grössen ist ohne Zweifel die Ohm'sche. Man schalte in den aus dicken und nicht zu langen Kupferdrähten gebildeten Schliessungsbogen des galvanischen Bechers, dessen Leitungswiderstand man bestimmen will, eine Tangentenbussole ein und beobachte die Ablenkung, welche der Strom hervorbringt. Die entsprechende Stromstärke sei J, so haben wir

$$J = \frac{e}{r},$$

wenn e die elektromotorische Kraft und r den wesentlichen Widerstand des Rheomotors (den geringen Widerstand des gutleitenden Schliessungsbogens mitgerechnet) bezeichnet. Schaltet man nun einen ferneren Widerstand l von bekannter Grösse ein (wobei eine der in §. 91 besprochenen Widerstandssäulen die besten Dienste leistet), so nimmt die Ablenkung der Nadel ab und dem geringeren Ablenkungswinkel entspricht die Stromstärke

$$J' = \frac{e}{r + l},$$

durch die Combination dieser beiden Gleichungen erhält man

$$r = \frac{J'}{J - J'} l \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

und

$$e = \frac{J \cdot J'}{J - J'} l \quad \ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

Als Beispiel mögen folgende Versuche dienen, bei welchen eine Tangentenbussole gebraucht wurde, deren Reductionsfactor gleich 65 war. Die eingeschalteten Widerstände sind nach der Jacobi'schen Kupfereinheit $\frac{\text{Meter}}{\text{Millimeter}}$ Cu gemessen.

Für einen Bunsen'schen Zinkkohlenbecher von Stöhrer, welcher mit gebrauchter Salpetersäure und stark verdünnter Schwefelsäure gefüllt war, ergab sich

für die Einschaltung 0 $\quad v = 23^0$ also $J = 27,6$,
„ „ „ $l = 20 \quad v = 15,3$ „ $J' = 17,8$.

Setzt man diese Werthe, nämlich $J = 27,6$; $J = 17,8$ und $l = 20$ in die Gleichung 1) und 2), so kommt

$$r = 36,3$$
$$e = 1002.$$

Für $l = 40$ wurde $v = 11,45$, also $J' = 13,16$, setzt man aber den obigen Werth von J, ferner $J' = 13,16$ und $l = 40$ in die Gleichungen 1) und 2), so kommt

$$r = 36{,}4$$
$$e = 1004{,}6$$

Werthe, die mit den für $l = 20$ gefundenen sehr nahe übereinstimmen.

Bei Bestimmung der Constanten r und e nach der Ohm'schen Methode muss man sich hüten, allzustarke Ströme anzuwenden, weil durch dieselben die eingeschalteten meist nicht gar dicken Drähte erwärmt werden, so dass der Widerstand derselben in der That grösser ist, als man nach Angabe der Widerstandssäule in Rechnung bringt. Als derselbe Zinkkohlenbecher, welcher zu der obigen Bestimmung gedient hatte, mit frischer Salpetersäure und frisch gemischter verdünnter Schwefelsäure (1 Vitriolöl auf 16 Wasser) gefüllt wurde, ergab sich

für die Einschaltung 0 $v = 50{,}5$ also $J = 78{,}8$,
" " " $l = 20$ $v = 23{,}63$ " $J' = 28{,}2$,
" " " $l = 40$ $v = 15{,}95$ " $J' = 18{,}6$.

Setzt man in Gleichung 2) $J = 78{,}8$, $J' = 28{,}2$ und $l = 20$, so kommt

$$e = 878.$$

Setzt man $J = 78{,}8$, $J' = 18{,}6$ und $l = 40$, so kommt

$$e = 972.$$

Combinirt man aber die beiden letzten Beobachtungen, dass man die ersten eingeschalteten $l = 20$ noch zum wesentlichen Widerstand rechnet und dann $J = 28{,}2$, $J' = 18{,}6$ und $l = 20$ setzt, so kommt

$$e = 1092.$$

Nur diese letztere Zahl (etwas grösser als der Werth von e für alte lange gebrauchte Salpetersäure) kann als der sehr nahe richtige Werth der elektromotorischen Kraft dieses Bechers betrachtet werden. Die anderen Werthe 878 und 972 sind entschieden zu klein, weil in die Gleichung 2) für l (in Folge der Drahterwärmung) ein zu kleiner Zahlenwerth gesetzt worden war.

Um also nach der Ohm'schen Methode auch in solchen Fällen noch eine genaue Bestimmung der elektromotorischen Kraft zu erhalten, in welchen der ursprüngliche Ausschlag der Tangentenbussole zu gross (über 20°) ausfällt, verlängere man den Schliessungsbogen so, dass der ursprüngliche Ausschlag höchstens 20° beträgt, und setze dann erst die weitere Einschaltung mit der Widerstandssäule hinzu.

Unter Beobachtung der oben besprochenen Vorsichtsmaassregeln fand ich nach der Ohm'schen Methode für die elektromotorische Kraft

eines Zinkkohlenbechers mit chromsaurem Kali (S. 216) . . 1070
eines Daniell'schen Bechers 650
eines Wollaston'schen Plattenpaares 277.

Für nicht constante Elektromotoren, also auch für die Wollaston'sche Säule, ist die elektromotorische Kraft aus Gründen, die wir bald wer-

den kennen lernen, eine ziemlich veränderliche Grösse, der Zahlenwerth 277 ist also auch nur ein ungefährer.

Die Grösse der nach der Ohm'schen Methode erhaltenen Werthe der elektromotorischen Kraft ändert sich natürlich mit der Einheit des Leitungswiderstandes; da aber die Widerstandssäulen, welche sich auf dieselbe Widerstandseinheit beziehen sollen, wenn sie in verschiedenen Werkstätten angefertigt sind, für dieselbe Zahlenangabe doch oft sehr verschiedene Widerstände geben, so können die so bestimmten Werthe der elektromotorischen Kraft trotz sorgfältig angestellter Versuche oft sehr differiren. Es ist deshalb zweckmässig, bis allgemein mehr Sicherheit in die Widerstandsbestimmungen gebracht ist, die elektromotorischen Kräfte verschiedener Elektromotoren unter sich zu vergleichen. Die elektromotorische Kraft eines Daniell'schen Bechers zur Einheit nehmend, hat man also nach obigen Bestimmungen für

einen Daniell'schen Becher	1
eine Bunsen'sche Säule (frische Säure)	1,68
ein Wollaston'sches Plattenpaar	0,42

Der Leitungswiderstand verschiedener Rheomotoren ist nun keine beständige Grösse, wie die elektromotorische Kraft, denn er ändert sich mit den Dimensionen des Apparates, mit der Natur der Thonzellen, dem Concentrationsgrade der Flüssigkeiten u. s. w. Wir können also in Beziehung auf den Leitungswiderstand die verschiedenen Rheomotoren nicht so einfach vergleichen, wie wir es in Beziehung auf die elektromotorische Kraft gethan haben; wir müssen uns hier auf wenige allgemeine Bemerkungen beschränken. Unter sonst gleichen Umständen, d. h. bei gleichen Dimensionen, gleichen Thonzellen und gleichem Verdünnungsgrad der Schwefelsäure ist der Leitungswiderstand eines Grove'schen und Bunsen'schen Bechers bedeutend kleiner (nach neueren Versuchen im Verhältniss von 6 zu 1) als der eines Daniell'schen, weil die Salpetersäure besser leitet als die Lösung des Kupfervitriols.

Der oben auf S. 259 für r ermittelte Zahlenwerth 36,3 ist der wesentliche Leitungswiderstand des fraglichen Zinkkohlenbechers plus dem Leitungswiderstand des Schliessungsbogens für den Fall, dass die eingeschaltete Widerstandssäule auf 0 gestellt ist. Für den Widerstand dieses Schliessungsbogens fand ich auf anderem Wege den Werth 25, es bleibt also für den fraglichen, mit alter Säure gefüllten Stöhrer'schen Becher selbst ungefähr der Leitungswiderstand 11. Mit frischer Säure gefüllt, reducirte sich der Leitungswiderstand dieser Säule ungefähr auf 9.

Für eines der grossplattigen Ruhmkorff'schen Zinkkohlenelemente, Fig. 226, S. 216, fand ich den Leitungswiderstand ungefähr $1/3$ von dem der grösseren Stöhrer'schen Becher.

In der Wollaston'schen Kette ist der Leitungswiderstand verhältnissmässig sehr gering, weil die Flüssigkeitsschicht nicht dick ist und die

poröse Scheidewand wegfällt. Das Gleiche gilt auch von der Stöhrer'schen Zimmersäule.

94 **Verschiedene Methoden zur Bestimmung der elektromotorischen Kraft.** Die eben besprochene Ohm'sche Methode zur Bestimmung der elektromotorischen Kraft galvanischer Rheomotoren setzt voraus, dass elektromotorische Kraft und Leitungswiderstand wenigstens während der Dauer des Versuchs constant bleiben, und sie giebt die elektromotorische Kraft modificirt durch die alsbald zu besprechende galvanische Polarisation; in Fällen also, in welchen unter dem Einfluss dieser galvanischen Polarisation die elektromotorische Kraft sehr veränderlich ist, und wo es sich darum handelt, die ursprüngliche elektromotorische Kraft kennen zu lernen, bevor dieselbe noch durch die galvanische Polarisation modificirt ist, muss man sich nach anderen Methoden umsehen, von denen wir hier nur die am meisten angewandten betrachten wollen.

Die Fechner'sche Methode gründet sich auf den Satz, dass wenn man der Reihe nach zwei verschiedene Volta'sche Elemente durch einen Schliessungsbogen schliesst, gegen welchen der wesentliche Widerstand der Becher verschwindet, die Stromstärken ihren elektromotorischen Kräften proportional sind. Für einen Becher A haben wir

$$J = \frac{e}{r + \alpha},$$

für ein anderes galvanisches Element haben wir

$$J' = \frac{e'}{r' + \alpha},$$

wenn nun r und r' verschwindend klein sind gegen α, so gehen diese beiden Gleichungen über in

$$J = \frac{e}{\alpha} \text{ und } J' = \frac{e'}{\alpha},$$

also

$$\frac{J}{J'} = \frac{e}{e'},$$

oder

$$e' = e\,\frac{J'}{J}.$$

Wenn man in den Schliessungsbogen eines Volta'schen Bechers einen sehr bedeutenden Leitungswiderstand anbringt, so wird die Stromstärke so gering, dass sie an der Tangentenbussole gar keine oder doch nur ganz unbedeutende Ausschläge bewirkt, welche keine genaue Messung der Stromstärke gestatten. Man muss deshalb hier die Tangentenbussole durch ein weit empfindlicheres Instrument, durch einen Multiplicator, ersetzen, bei welchem die Ablenkungswinkel in einem einfachen Verhältniss zur Stromstärke stehen.

Bei einer Versuchsreihe, welche ich anstellte, um die elektromotorische Kraft verschiedener Volta'scher Elemente nach der Fechner'schen Methode zu vergleichen, bediente ich mich zur Einschaltung eines bedeutenden Widerstandes der Inductionsspirale eines mittelgrossen Ruhmkorff'schen Apparates, zur Messung der Stromstärken aber des in Fig. 36, S. 31 dargestellten Spiegel-Galvanometers. Wenn durch die Drahtwindungen dieses Apparates ein schwacher Strom hindurchgeht, so sind die (durch das Fernrohr im Spiegel zu beobachtenden) Ablenkungen des Magnetstabes aus seiner Gleichgewichtslage einfach der Stromstärke proportional.

Die Beobachtungen wurden nun in folgender Weise angestellt. — Nachdem die Kette geschlossen worden war, wurde der Theilstrich der Scala beobachtet (z. B. 48,56), welcher sich am Fadenkreuz des Fernrohres einstellte; alsdann wurde der Strom umgekehrt, und abermals beobachtet, welcher Theilstrich (46,64) sich nun einstellte. Die Differenz dieser beiden Ablesungen ist (48,56 — 46,64 = 1,92) nun ein Maass für die Stärke des durch den Apparat hindurchgegangenen Stromes. Der grösseren Sicherheit wegen wurde nun diese Operation mehrmals wiederholt, also alternirend eine Reihe von Ablesungen für die eine und dann für die andere Stromesrichtung vorgenommen. Für einen Daniell'schen Becher ergaben sich folgende Resultate:

48,56 — 46,64 . . .	1,92
48,55 — 46,61 . . .	1,94
48,54 — 46,58 . . .	1,96
Mittel	1,94

Dasselbe Mittel ergab sich auch aus einer grösseren Reihe solcher Ablesungen, 1,94 ist also ein Maass für die elektromotorische Kraft des Daniell'schen Bechers.

Auf die gleiche Weise ergab sich für die elektromotorische Kraft eines Zinkkohlenbechers

mit käuflicher Salpetersäure	3,54
mit 1 Salpetersäure + 2 Vitriolöl	3,65
mit concentrirter Kochsalzlösung ohne Thonzelle .	3,64
mit Lösung von saurem chromsauren Kali (S. 216) ohne Thonzelle	3,66

Die ursprüngliche elektromotorische Kraft eines Zinkkohlenbechers ohne Thonzelle mit concentrirter Kochsalzlösung oder mit einer Lösung von saurem chromsauren Kali in verdünnter Schwefelsäure ist also ohne merklichen Unterschied gleich der eines Bunsen'schen Bechers, bei welchem die Kohle in concentrirter Salpetersäure, das Zink in verdünnter Schwefelsäure steht.

Nehmen wir die elektromotorische Kraft eines Daniell'schen Bechers zur Einheit, so ist diesen Versuchen zufolge die elektromotorische

Kraft eines Zinkkohlenbechers 1,82 bis 1,83, ein Resultat, welches nicht unbedeutend von dem mit denselben Bechern nach der Ohm'schen Methode erhaltenen und in §. 93 besprochenen abweicht.

Um nun den Einfluss der galvanischen Polarisation auf die elektromotorische Kraft zu ermitteln, wurden die elektromotorischen Becher, welche zu den eben besprochenen Versuchen gedient hatten, eine halbe Stunde lang durch einen Kupferdraht von ungefähr 1 Meter Länge und 2 Millimeter Durchmesser geschlossen gehalten und dann eine abermalige Vergleichung ihrer elektromotorischen Kraft vorgenommen. Es ergaben sich nun folgende Werthe der elektromotorischen Kraft:

für den Daniell'schen Becher	1,95
für den Bunsen'schen Becher mit alter Säure	3,39.

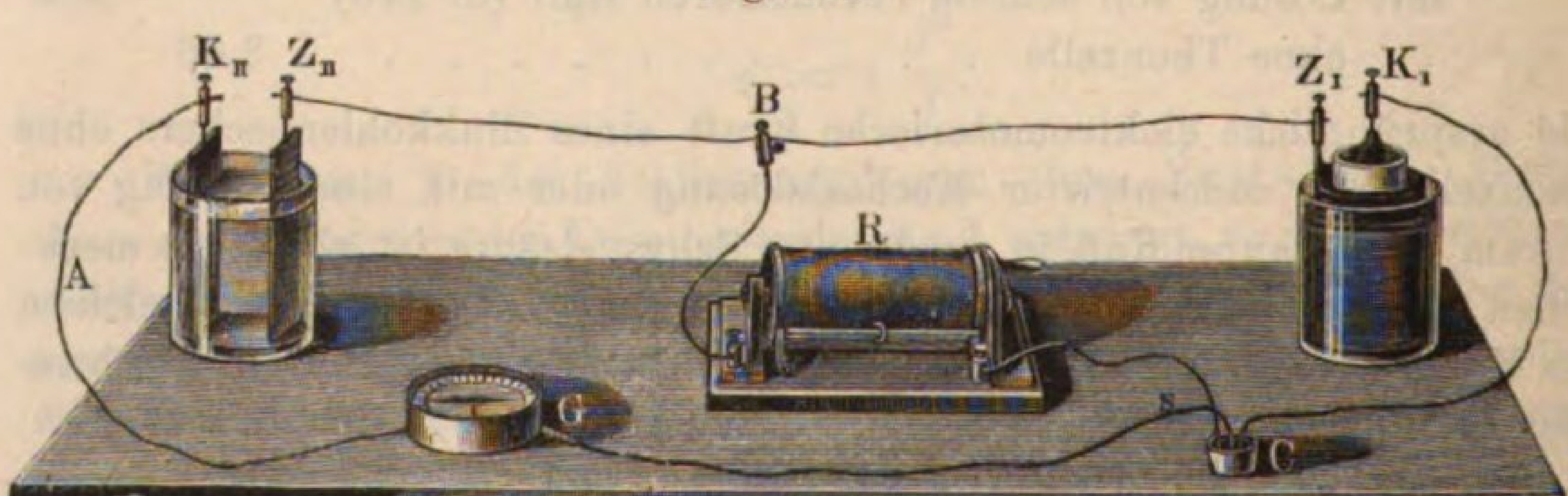
Durch den starken Strom, welcher eine halbe Stunde lang in diesen Bechern circulirt hatte, war also ihre elektromotorische Kraft nicht bedeutend verändert worden, dasselbe fand auch nahezu bei dem Zinkkohlenbecher statt, welcher mit einer Lösung von saurem chromsauren Kali in verdünnter Schwefelsäure gefüllt war.

Anders verhielt es sich mit der elektromotorischen Kraft des mit der Kochsalzlösung gefüllten Zinkkohlenbechers. Hier sank die elektromotorische Kraft in Folge der halbstündigen Schliessung ungefähr auf $^1/_3$ ihrer ursprünglichen Grösse, und nur nach und nach verlor sich die galvanische Polarisation wieder, von welcher jene Schwächung der elektromotorischen Kraft herrührt.

Um die ursprüngliche, noch nicht durch Polarisation modificirte elektromotoriche Kraft verschiedener Combinationen mit einander zu vergleichen, wandte Poggendorff die nach ihm genannte Compensationsmethode an, welche die Eigenthümlichkeit hat, dass der Strom des fraglichen Elektromotors gar nicht zu Stande kommt, sondern durch den Strom eines andern Bechers von constanter und bekannter elektromotorischer Kraft compensirt wird.

In Fig. 261 stelle $Z_I K_I$ ein constantes Element, etwa einen Zinkkohlenbecher, und $K_{II} Z_{II}$ ein anderes Volta'sches Element dar, dessen elektromotorische Kraft geringer ist als die von $Z_I K_I$. Die beiden ne-

Fig. 261.



gativen Pole beider Z_I und Z_{II} sind durch die Drahtleitung $Z_{II} B Z_I$ verbunden; ebenso die beiden positiven K_{II} und K_I durch die Drahtleitung $K_{II} A G C K_I$, in welcher bei G ein Multiplicator eingeschaltet ist und welche bei C beliebig unterbrochen werden kann. Zwischen B und C ist eine weitere Drahtleitung angebracht, in welcher ein Rheostat R eingeschaltet ist.

Nehmen wir an, die beiden Volta'schen Elemente $K_{II} Z_{II}$ und $Z_I K_I$ seien einander vollkommen gleich, so stellt uns die Combination Fig. 261 nichts anderes dar, als zwei Plattenpaare, welche so verbunden sind, dass sie ein einziges von doppelter Oberfläche darstellen, welches seinen Strom durch den Schliessungsbogen $B R C$ hindurchsendet; ist aber die elektromotorische Kraft von $Z_{II} K_{II}$ kleiner, so sind die Stromwirkungen etwas complicirter.

Bezeichnen wir

mit l den Widerstand des Bechers $Z_I K_I$ sammt den Drahtleitungen bis B und C,

mit l' den Widerstand des Bechers $K_{II} Z_{II}$ sammt den Drahtleitungen bis B und C, also den Widerstand des Multiplicators G mit eingerechnet,

mit r den Leitungswiderstand der Drahtleitung zwischen B und C,

mit E die elektromotorische Kraft des Bechers $Z_I K_I$,

mit E' die elektromotorische Kraft des Bechers $Z_{II} K_{II}$.

Der Strom des Bechers $Z_I K_I$ theilt sich bei B und C in zwei Theile, von denen der eine die Drahtleitung zwischen B und C durchläuft, der andere aber durch den Multiplicator G und den Becher $Z_{II} K_{II}$ nach B gelangt. Der Leitungswiderstand des einen Zweiges ist r, der des andern ist l', folglich ist der Widerstand der beiden nebeneinander befindlichen Zweige (§. 85) $\frac{l' r}{l' + r}$ und die Stärke des ungetheilten Stromes, welchen $Z_I K_I$ liefert, ist

$$J = \frac{E}{l + \frac{l' r}{l' + r}} = \frac{E (l' + r)}{l (l' + r) + l' r},$$

wenn man von der elektromotorischen Kraft des Bechers $Z_{II} K_{II}$ abstrahirt. Derjenige Theil dieses Gesammtstromes, welcher durch $Z_{II} K_{II}$ geht, ist

$$i = \frac{E r}{l (l' + r) + r . l'} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 1)$$

der Gesammtstrom, welchen $Z_{II} K_{II}$ liefert und welcher sich nachher in die Zweige $C R B$ und $C K_I Z_I B$ spaltet, ist

$$J' = \frac{E' (l + r)}{l' (l + r) + r . l} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 2)$$

die beiden Ströme 1) und 2) gehen in entgegengesetzter Richtung durch den Multiplicator hindurch. Da nun die Nenner der beiden Stromwerthe

bei 1) und 2) einander gleich sind, so wird offenbar der Multiplicator auf dem Nullpunkt stehen bleiben, wenn

$$Er = E'(l + r) \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 3)$$

Für bestimmte Werthe von E, E' und l wird es also stets einen Werth von r geben, welcher der Gleichung 3) Genüge leistet, es giebt also eine bestimmte Länge des Drahtes zwischen B und C, bei welcher der Multiplicator keinen Strom anzeigt.

Hat nun der Widerstand r im Draht BRC gerade eine solche Grösse, dass der Multiplicator auf 0 stehen bleibt, wenn man den von G kommenden Draht in das Quecksilbernäpfchen C eintaucht (in welches natürlich die beiden anderen Drähte bereits eingetaucht sind), dass also der Gleichung 3) Genüge geleistet ist, so ergiebt sich aus dieser Gleichung

$$E' = E \frac{r}{l + r} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 4)$$

man kann also die elektromotorische Kraft E' des Bechers $Z_{II}K_{II}$ berechnen, wenn man die elektromotorische Kraft E des Bechers Z_IK_I und den Werth der Widerstände l und r kennt.

Natürlich kann man die richtige Länge des Drahtes zwischen B und C nicht gleich auf den ersten Wurf treffen, vielmehr wird in der Regel, wenn man bei C schliesst, die Multiplicatornadel nach der einen oder der anderen Seite abweichen, je nachdem der Widerstand zwischen B und C zu klein oder zu gross ist. Mittelst des Rheostaten kann man nun aber die Grösse dieses Widerstandes so reguliren, dass der Multiplicator entweder gar keinen oder doch nur einen ganz schwachen Strom anzeigt.

Dies ist nun als eine erste Annäherung zum richtigen Verhältniss zwischen l und r zu betrachten. Man lässt nun die Kette $Z_{II}K_{II}$ eine Zeit lang ungeschlossen, damit sich alle Polarisation verliere, oder noch besser, man nimmt die negative Platte aus der Flüssigkeit heraus, reinigt sie und setzt sie wieder an ihre Stelle. Entsteht nun noch ein Ausschlag, wenn man bei C schliesst, so regulirt man abermals die Länge des Drahtes zwischen B und C, bis man das richtige Verhältniss hergestellt hat. Um den Werth von E' nach Gleichung 4) berechnen zu können, hat man nur noch die Grösse der Leitungswiderstände r und l zu bestimmen.

Bei einem solchen Versuche, bei welchem es sich um die Vergleichung der elektromotorischen Kräfte eines Daniell'schen und eines Bunsen'schen Bechers handelte, ergab sich $r = 52{,}68$ und $l = 35{,}03$, wonach die elektromotorische Kraft des Bunsen'schen Bechers 1,668 ist, wenn man den des Daniell'schen gleich 1 setzt.

Nachdem wir nun die hauptsächlichsten Methoden kennen gelernt haben, nach denen man die elektromotorische Kraft verschiedener hydroelektrischer Stromquellen bestimmen kann, mag hier noch eine Reihe von Zahlenwerthen dieser Grösse folgen, welche von verschiedenen Experimentatoren ermittelt worden sind.

Die elektromotorische Kraft der Daniell'schen Kette gleich 1 gesetzt, ist die elektromotorische Kraft eines

Grove'schen Bechers

1.	Nach Poggendorff . . .	1,81	Ohm'sche Methode,
2.	„ „ . . .	1,68	
3.	„ „ . . .	1,51	
4.	„ „ . . .	1,68	Compensationsmethode,
5.	„ Buff	1,75	Ohm'sche Methode,
6.	„ „	1,79	Fechner'sche Methode,
7.	„ Beetz	1,71	Compensationsmethode,
8.	„ Waltenhofen . . .	1,71	Compensationsmethode,
9.	„ „ . . .	1,86	
10.	„ „ . . .	1,76	Fechner'sche Methode.

Poggendorff fand bei Anwendung der Ohm'schen Methode die elektromotorische Kraft eines Grove'schen Bechers verschieden, je nachdem die Flüssigkeiten verschieden waren. Der Werth bei 1) ergab sich für Platin in rauchender Salpetersäure und Zink in einer Mischung von 1 Schwefelsäure in 4 Wasser; der Werth bei 2) ergab sich, als das Zink in der gleichen Flüssigkeit stand, wie bei 1), das Platin aber in Salpetersäure von 1,33 specif. Gewicht. Der Werth bei 3 endlich ergab sich als Platin in der gleichen Flüssigkeit wie bei 2), das Zink aber in 1 Schwefelsäure und 12 Wasser.

Was die Resultate von Waltenhofen (Sitzungsberichte der Wiener Akad. XLIX. Eine vollständige Zusammenstellung der früheren Bestimmungen sammt Angabe der entsprechenden Literatur findet man im ersten Bande von Wiedemann's Galvanismus) betrifft, so wurde der Werth bei 8 erhalten, als der Daniell'sche Becher durch den Grove'schen compensirt war, der Werth bei 9 aber, als der Grove'sche Becher durch eine Säule von zwei Daniell'schen compensirt wurde. Die Flüssigkeit, in welcher das Platin stand, war eine Mischung von 1 Theil käuflicher Salpetersäure mit 2 Theilen Vitriolöl. Als nur käufliche Salpetersäure angewendet wurde, ergaben sich die Werthe 1,65 bis 1,69 und 1,68.

Es ist die elektromotorische Kraft eines

Bunsen'schen Bechers

1.	Nach Buff	1,78	Ohm'sche Methode,
2.	„ „	1,71	
3.	„ „	1,78	Fechner'sche Methode,
4.	„ Waltenhofen . . .	1,74	Compensationsmethode,
5.	„ „ . . .	1,81	
6.	„ „ . . .	1,78	Fechner'sche Methode,
7.	„ „ . . .	1,65	Compensationsmethode,
8.	„ „ . . .	1,72	
9.	„ „ . . .	1,68	Fechner'sche Methode.

Bei den Versuchen Nr. 4, 5 und 6 stand die Kohle in einer Mischung von 1 Theil Salpetersäure und 2 Theilen Vitriolöl, bei den Versuchen 7, 8 und 9 aber in käuflicher Salpetersäure. Meine auf S. 263 besprochenen Versuche zeigen einen ähnlichen, wenn auch nicht so bedeutenden Unterschied. Bei den Waltenhofen'schen Versuchen war Gaskohle in Anwendung gebracht, bei den meinigen die Bunsen'sche Kohlenmasse.

95 **Zweckmässigste Combination einer gegebenen Anzahl rheomotorischer Becher.** Ein Maximum der Stromstärke erhält man von einer gegebenen Anzahl galvanischer Becher, wenn man sie so ordnet, dass der wesentliche Widerstand im Rheomotor dem Widerstande im Schliessungsbogen gleich ist.

Dieser Satz soll erst erläutert, dann bewiesen werden.

Wir haben bereits oben gesehen, dass man eine bestimmte Anzahl galvanischer Becher in verschiedener Weise combiniren kann, so dass sie bald eine Säule von vielen, aber kleineren, bald eine solche von wenigen, aber grösseren Plattenpaaren darstellt. Für jede dieser Combinationen ist natürlich auch der Gesammtwiderstand ein anderer. Bezeichnen wir den

Fig. 262.



Fig. 263.

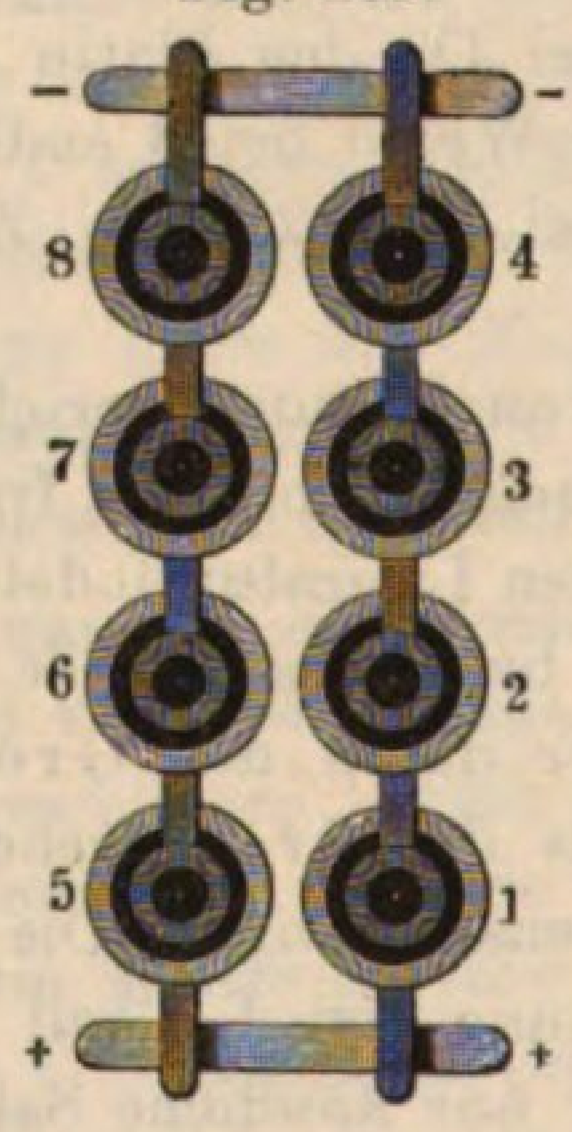


Fig. 264.

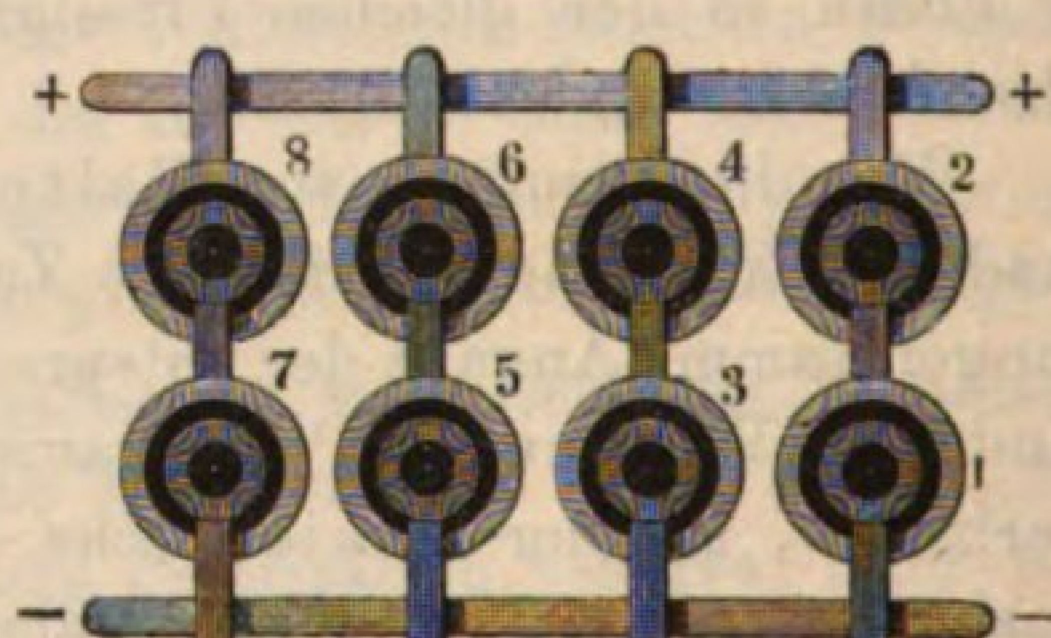
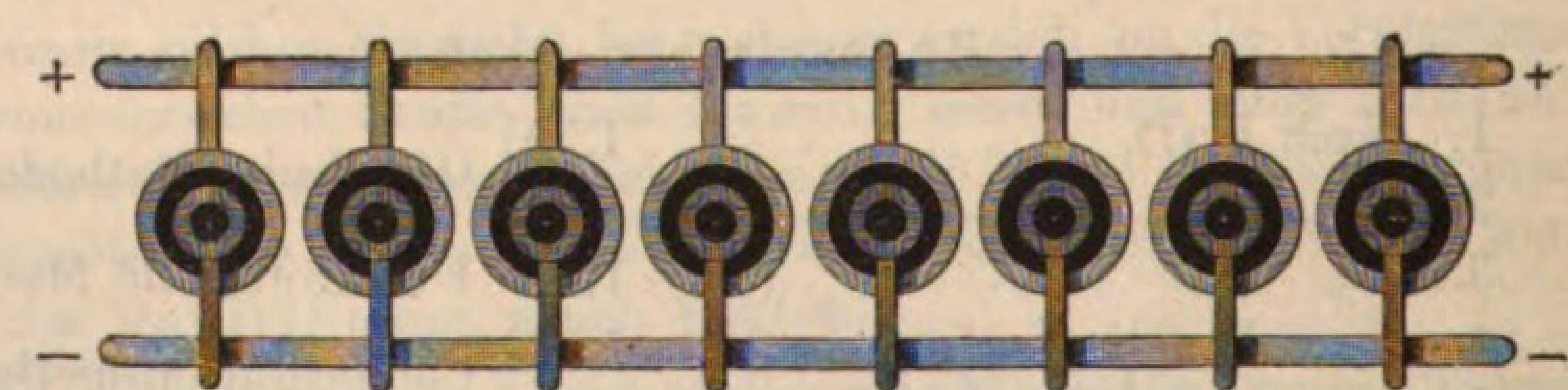


Fig. 265.



Leitungswiderstand eines einzelnen Bechers mit 1, so ist der Gesammtwiderstand der Combination, Fig. 262, gleich 8; der Widerstand der Combinationen Fig. 263 bis 265 ist dann der Reihe nach 2, $^1/_2$ und $^1/_8$.

Eine Anzahl von 24 Bechern kann man auf acht verschiedene Arten combiniren, nämlich:

1) Zu einer Säule von 24 einzelnen Bechern,
2) „ „ „ „ 12 doppelten „
3) „ „ „ „ 8 dreifachen „
4) „ „ „ „ 6 vierfachen „
5) „ „ „ „ 4 sechsfachen „
6) „ „ „ „ 3 achtfachen „
7) „ „ „ „ 2 zwölffachen „
8) „ „ „ „ 1 vierundzwanzigfachen Becher.

Welche von diesen Combinationen in einem bestimmten Fall zu wählen sei, hängt vom Leitungswiderstande des Schliessungsbogens ab. Man hat diejenige Combination zu nehmen, deren Widerstand dem des gegebenen Schliessungsbogens am nächsten steht. Bezeichnen wir mit 1 den Widerstand eines Bechers, so ist der Widerstand

für die 1. Combination 24,
„ „ 2. „ 6,
„ „ 3. „ 2,666,
„ „ 4. „ 1,5,
„ „ 5. „ 0,666,
„ „ 6. „ 0,375,
„ „ 7. „ 0,166,
„ „ 8. „ 0,0416.

Ist der Widerstand des gegebenen Schliessungsbogens kleiner als 0,1 von dem Widerstande eines Elementes, so hat man die letzte Combination zu wählen, die erste aber, wenn der Leitungswiderstand des Schliessungsbogens grösser ist als der von 15 Bechern. Liegt der zu überwindende Widerstand zwischen 15 und 4,3 — zwischen 4,3 und 2 — zwischen 2 und 1,08 u. s. w., so hat man die zweite, dritte, vierte u. s. w. Combination zu wählen.

Der eben erläuterte Satz muss nun noch bewiesen werden.

Betrachten wir die verschiedenen Combinationen von 8 Elementen, wie sie in den Fig. 262 bis 263 dargestellt sind, so übersieht man leicht, dass, wenn man die Säule verkürzt, sie in demselben Verhältniss breiter wird, d. h. wenn man weniger Becher hinter einander setzt, so kann man bei Anwendung der gleichen Becherzahl in demselben Verhältniss mehr Elemente neben einander setzen.

Gehen wir von der ersten Combination aus. Wir haben hier eine Säule von 8 einfachen Bechern. Reduciren wir die Länge der Säule auf die Hälfte, also auf 4, so können wir die Breite jedes Plattenpaares verdoppeln, wir haben jetzt 4 doppelte Becher, Fig. 263.

Macht man die Säule viermal kürzer, so kann man viermal soviel einzelne Becher zu einem Plattenpaare vereinigen: aus 8 einfachen Bechern

erhält man 2 vierfache, Fig. 264. Kurz, wenn man die Säule amal kürzer macht, so kann man amal soviel Becher zu einem Plattenpaare vereinigen.

Wenn die Zahl der hinter einander zur Säule vereinigten Becher amal kleiner wird, so wird die elektromotorische Kraft auch amal kleiner; hätte man nun die Säule bloss amal kürzer gemacht, ohne ihre Breite zunehmen zu lassen, so würde auch der Leitungswiderstand amal kleiner geworden sein; wenn aber jedes Element der einen Säule aus amal so vielen Einzelelementen besteht als früher, so wird nun der Widerstand in der That a^2mal kleiner als vorher.

So ist der Leitungswiderstand für die Combinationen Fig. 263 bis 265 4mal, 16mal und 64mal geringer als der Leitungswiderstand der Säule Fig. 262.

Nach dieser Auseinandersetzung ist nun der fragliche Beweis leicht zu führen. Es sei für irgend eine Combination mehrerer Becher die elektromotorische Kraft E, der wesentliche Leitungswiderstand l. Wird diese Säule durch einen Schliessungsbogen geschlossen, dessen Widerstand ebenfalls l ist, so ist nach dem Ohm'schen Gesetze die Stromstärke

$$S = \frac{E}{l + l} = \frac{E}{2l} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

Wird nun die Säule amal kürzer, die einzelnen Plattenpaare amal breiter gemacht, so wird die elektromotorische Kraft amal kleiner, sie wird $\frac{E}{a}$; der Leitungswiderstand der Kette wird aber $\frac{l}{a^2}$, die Stromstärke wird also jetzt bei gleichem Schliessungsbogen

$$S' = \frac{\frac{E}{a}}{\frac{l}{a^2} + l} = \frac{E}{l\left(a + \frac{1}{a}\right)} \quad \ldots\ldots \quad 2)$$

Die Summe $a + \frac{1}{a}$ ist nun aber unter allen Umständen grösser als 2, was für einen ganzen oder gebrochenen Zahlenwerth man auch für a setzen mag; es ist also auch der Werth des Bruches 2) unter allen Umständen kleiner als der des Bruches 1). Da nun 1) den Werth der Stromstärke für den Fall bezeichnet, dass der Widerstand im Elektromotor dem Widerstande des Schliessungsbogens gleich ist, der Bruch 2) aber den Werth der Stromstärke für den Fall, dass dieselbe Anzahl von Einzelelementen auf irgend eine andere Weise combinirt ist, so ist hiermit der fragliche Satz bewiesen.

Nach diesem Satze kann man nun leicht berechnen, welche Combination in einem gegebenen Falle gewählt werden müsse.

Es seien die n disponibelen Becher so combinirt, dass sie eine Säule von s Plattenpaaren bilden, deren jedes aus t Bechern gebildet ist, so ist $n = s \cdot t$. Bezeichnen wir den Widerstand eines Bechers mit r, so ist

der Widerstand unserer Combination gleich $r \cdot \frac{s}{t}$. — Die Becher sollen aber so combinirt sein, dass dieser Widerstand gleich ist dem Widerstande l des gegebenen Schliessungsbogens, wir haben also

$$r \cdot \frac{s}{t} = l.$$

Da aber $t = \frac{n}{s}$, so ist auch

$$\frac{r \, . \, s^2}{n} = l,$$

oder

$$s = \sqrt{\frac{l \, . \, n}{r}}.$$

Zur Erzeugung des Stromes habe man z. B. 8 Zinkkohlenbecher, deren jeder einen Leitungswiderstand 15 ausübt. Der Schliessungsbogen sei durch einen spiralförmig gewundenen dicken Kupferdraht gebildet, dessen Widerstand 40 ist, so haben wir

$$s = \sqrt{\frac{8 \, . \, 40}{15}} = 4{,}3.$$

Es wird hier also eine Säule von 4 Doppelbechern, die Combination Fig. 263 auf Seite 268, die grösste Wirkung geben. In der That ist für diesen Fall die Stromstärke

$$S = \frac{4 \, . \, 800}{4^{15}/_2 + 40} = 45{,}7.$$

Hätte man bei demselben Schliessungsbogen dieselben Becher zu einer Säule von 8 Plattenpaaren verbunden (die Combination Fig. 262 auf Seite 268), so wäre die Stromstärke nur

$$S = \frac{8 \, . \, 800}{8 \, . \, 15 + 40} = 40,$$

und für die Combination Fig. 265 S. 268.

$$S = \frac{800}{^{15}/_8 + 40} = 19.$$

Hat man einmal eine gegebene Anzahl von Bechern so combinirt, dass sie in einem gegebenen Schliessungsbogen ein Maximum von Stromstärke geben, so wird eine Vermehrung der Becher die Stromstärke im günstigsten Falle nur im Verhältniss der Quadratwurzel aus der Becherzahl vergrössern; man muss also 4mal, 9mal, 16mal so viel Becher anwenden, um die 2fache, 3fache, 4fache Wirkung zu erhalten.

Die Richtigkeit dieser Behauptung ergiebt sich aus folgender Betrachtung. Es sei der Widerstand des Schliessungsbogens gleich r, gleich dem Widerstande eines Bechers, dessen elektromotorische Kraft mit E bezeichnet werden soll, so ist die Stromstärke

$$S = \frac{E}{r + r} = \frac{E}{2r}.$$

Die Stromstärke soll nun durch Vermehrung der Becherzahl verdoppelt werden. Soll die neue Combination ein Maximum von Effect geben,

Fig. 266.

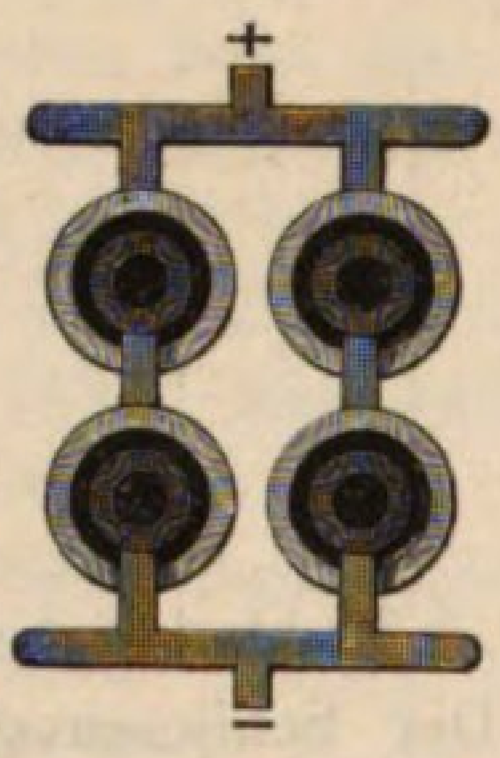
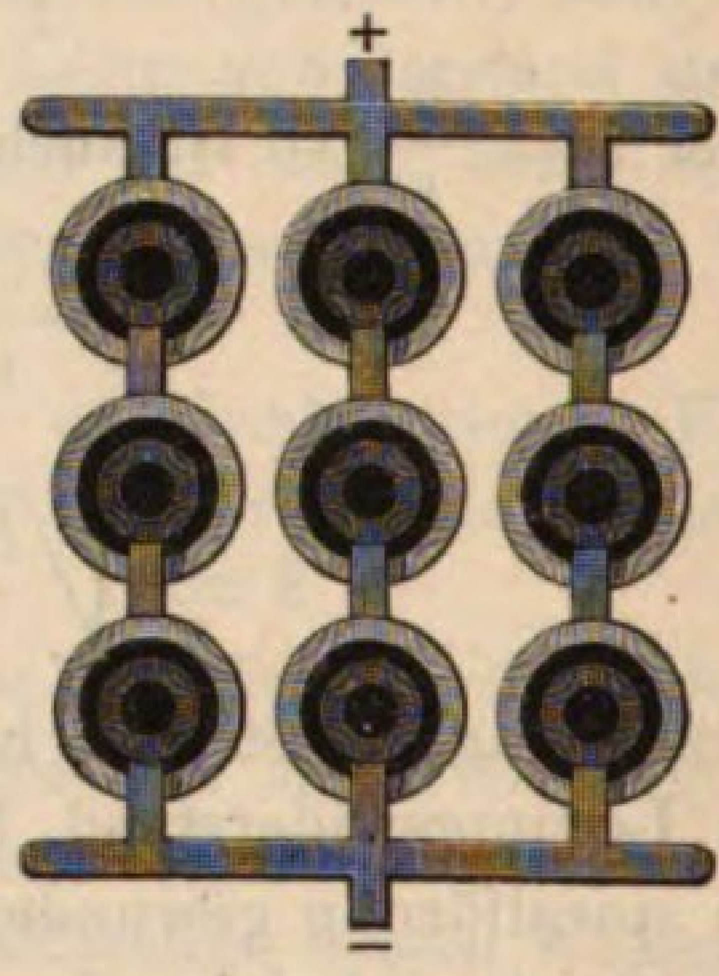


Fig. 267.



so muss der Widerstand in der Kette so gross bleiben als der Widerstand des Schliessungsbogens, der Widerstand der neuen Combination darf also nicht grösser werden als der eines einzigen Bechers; wir werden also die doppelte Stromstärke erhalten, wenn wir bei unverändertem Widerstande die elektromotorische Kraft verdoppeln. Die elektromotorische Kraft wird verdoppelt dadurch, dass 2 Plattenpaare hinter einander gesetzt werden; wir müssen aber 2 Doppelelemente nehmen, wenn ihr Widerstand eben so gross sein soll wie der eines einzelnen Elementes; die Combination Fig. 266 wird also eine 2mal, die Combination Fig. 267 wird eine 3mal so grosse Stromstärke geben, als ein einzelner Becher.

96 **Leitungswiderstand der Flüssigkeiten.** Wenn ein Voltameter in den Schliessungsbogen einer Säule eingeschaltet wird, so rührt die dadurch bewirkte Verminderung der Stromstärke nicht bloss von der Vermehrung des Leitungswiderstandes durch die eingeschaltete Flüssigkeit her, sondern es findet zugleich eine Verminderung der elektromotorischen Kraft statt, wie der folgende Versuch beweist.

Sechs Zinkkohlenbecher wurden zur Säule verbunden. Die in den Schliessungsbogen eingeschaltete Tangentenbussole gab

für die Einschaltung	0	46° Ablenkung,
„ „ „	51 Meter Normaldraht	30° „

und daraus ergab sich für die elektromotorische Kraft der Säule

$$E = 4655,$$

und für den Widerstand derselben

$$r = 64{,}3.$$

Nun wurde ein Voltameter eingeschaltet. Ohne weitere Einschaltung war die Ablenkung 31,8°. Als nun ausserdem noch der Widerstand 51

eingeschaltet wurde, ging die Nadel auf 20,6° zurück. Aus diesen beiden Ablesungen ergiebt sich nun, für den Fall, dass das Voltameter eingeschaltet war,

$$E' = 3385,$$

und der Widerstand der Säule sammt dem Voltameter

$$R = 78.$$

Der Widerstand der Flüssigkeit im Voltameter war demnach

$$78 - 64 = 14.$$

Die elektromotorische Kraft der Säule war aber durch die Einschaltung des Voltameters um

$$4655 - 3385 = 1270$$

vermindert worden. Es tritt also im Voltameter offenbar eine elektromotorische Gegenkraft auf, die man mit dem Namen der galvanischen Polarisation bezeichnet, wir werden sie im nächsten Paragraphen näher betrachten.

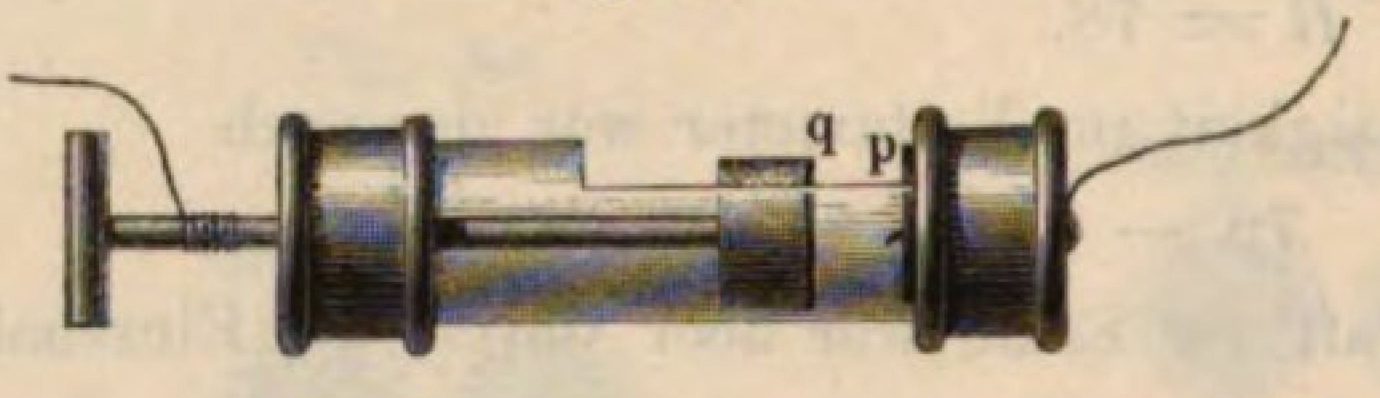
Diese galvanische Polarisation tritt überall da auf, wo an den Polplatten Gase aus den Flüssigkeiten ausgeschieden werden, wie dies ja bei dem Voltameter der Fall ist, sie fehlt dagegen oder sie tritt doch nur in unbedeutendem Grade auf, wenn eine solche Gasausscheidung nicht stattfindet, wie es z. B. der Fall ist, wenn kupferne Polplatten in eine Lösung von Kupfervitriol eintauchen. Hier schlägt sich nämlich metallisches Kupfer auf der negativen Platte nieder, während der an der positiven Polplatte ausgeschiedene Sauerstoff durch Oxydation des Kupfers weggenommen wird.

Wo keine galvanische Polarisation auftritt, lässt sich der Leitungswiderstand der chemisch zusammengesetzten Flüssigkeiten nach denselben Methoden bestimmen, wie der Leitungswiderstand von Metalldrähten; wo sie aber auftritt, muss entweder ihr Einfluss in Rechnung gebracht werden, wie es in dem obigen Beispiel geschah, oder die Versuche müssen so angeordnet sein, dass die galvanische Polarisation ohne Einfluss ist, dass sie gewissermaassen schon durch die Anordnung des Versuchs eliminirt ist.

Nach dem zu Anfang dieses Paragraphen erläuterten Verfahren würde man den Leitungswiderstand der Flüssigkeiten mit ziemlicher Genauigkeit ermitteln können, wenn die galvanische Polarisation eine stets unveränderliche Grösse wäre. Das ist aber nicht der Fall; sie wächst mit der Stromstärke, aber nicht proportional derselben, sondern anfangs rascher, dann langsamer, um sich endlich für starke Ströme einem Maximum zu nähern; die obige Methode kann deshalb auch nur dann genauere Werthe für den Leitungswiderstand der Flüssigkeiten liefern, wenn man mit hinlänglich starken Strömen experimentirt, um annehmen zu können, dass die Polarisation ihr Maximum erreicht habe oder doch demselben sehr nahe sei.

Jedenfalls ist es zweckmässiger, die Versuche so anzuordnen, dass die Stromstärke, also auch die galvanische Polarisation ungeändert bleibt, wie dies Wheatstone zuerst gethan hat. Der Apparat, dessen er sich bediente, bestand aus einer Glasröhre Fig. 268, von ungefähr 2 Zoll Länge und $^1/_2$ Zoll innerem Durchmesser. Auf dem grösseren Theil ihrer Länge ist sie oben offen, indem $^1/_4$ des Umfanges weggeschliffen ist, so dass noch ein Segment von 270° übrig bleibt. An einem Ende der Röhre ist ein Metallstöpsel befestigt, welcher innen mit einer Platinplatte p endigt, von der andern Seite her kann ein beweglicher Stempel, welcher ebenfalls mit einer Platinplatte q endigt, bis auf $^1/_4$ Zoll der festen Platinplatte genähert und auf $^5/_4$ Zoll von ihr entfernt werden.

Fig. 268.



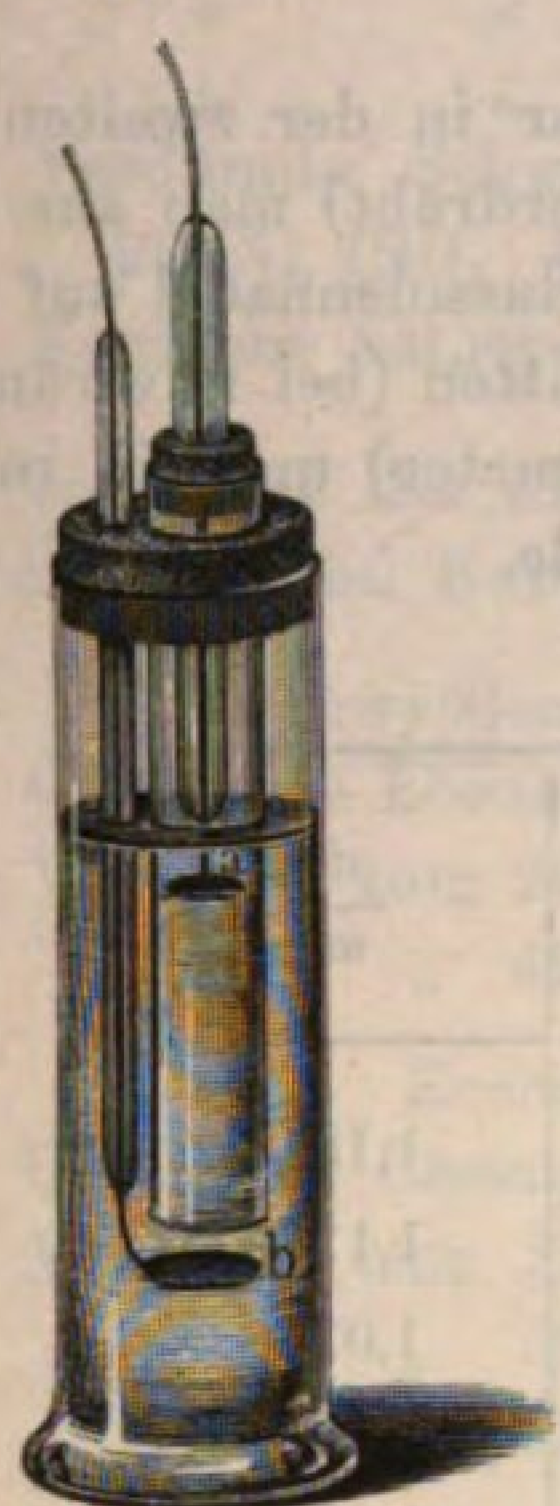
Um den Widerstand einer Flüssigkeit zu messen, wird nun diese Messröhre mit dem Galvanometer und dem Rheostaten in den Schliessungsbogen einer constanten Säule eingeschaltet. Während die beiden Platinplatten p und q $^1/_4$ Zoll von einander abstehen, wird der Zwischenraum zwischen denselben mit der Flüssigkeit gefüllt, deren Widerstand ermittelt werden soll und dann mittelst des Rheostaten die Ablenkung der Multiplicatornadel auf einen bestimmten Punkt gebracht. Nun wird der Stempel um 1 Zoll zurückgezogen und die Röhre wieder mit Flüssigkeit gefüllt; natürlich ist jetzt die Nadel des Galvanometers zurückgegangen, und um sie wieder auf ihren ursprünglichen Stand zu bringen, muss der Widerstand der Kette dadurch verringert werden, dass man den Rheostaten um eine Anzahl n von Windungen zurückdreht oder, mit anderen Worten, dass man n Rheostatenwindungen aus dem Schliessungsbogen herausnimmt. Da jetzt die Stromstärke, also auch die galvanische Polarisation eben so gross ist wie vorher, so ist also der Leitungswiderstand der n aus dem Schliessungsbogen herausgenommenen Rheostatenwindungen gleich dem Leitungswiderstand der statt dessen in den Schliessungsbogen eingeschalteten 1 Zoll langen Flüssigkeitssäule.

Auf demselben Princip beruhen auch die Methoden, welche Becquerel, Horsford u. A. anwandten, um den Leitungswiderstand von Flüssigkeiten zu bestimmen.

Statt des Apparates Fig 268 bediente sich Becquerel des Apparates Fig. 269, bei welchem die Polplatten a und b vertical übereinander stehen und welcher wohl aus der Figur hinlänglich verständlich sein wird. Für den Fall, dass man mit Lösungen von Metallsalzen zu thun hat, aus welchen sich das Metall an der negativen Polplatte niederschlägt, bestehen die Polplatten aus demselben Metall, welches in der Lösung enthalten ist; für Flüssigkeiten aber, aus welchen sich Gase ausscheiden, besteht die

untere Polplatte *b*, welche den positiven Pol bilden muss, aus einem Metall, welches durch den hier ausgeschiedenen Sauerstoff oxydirt wird, die obere aber, an welcher sich das Wasserstoffgas ausscheidet, aus Platin. Diese Platinplatte *a* muss dann schräg gestellt sein, damit die Gasblasen leichter entweichen können. Dieses Arrangement ist ohne Zweifel weniger empfehlenswerth, als solche Anordnungen, bei welchen die Polplatten vertical stehen.

Fig. 269.



Horsford bediente sich statt der Vorrichtung Fig. 268 des Apparates Fig. 270. In einem wohl gefirnissten Trog von trockenem Holze, welcher die Flüssigkeit aufnimmt, sind zwei Platin-

Fig. 270.

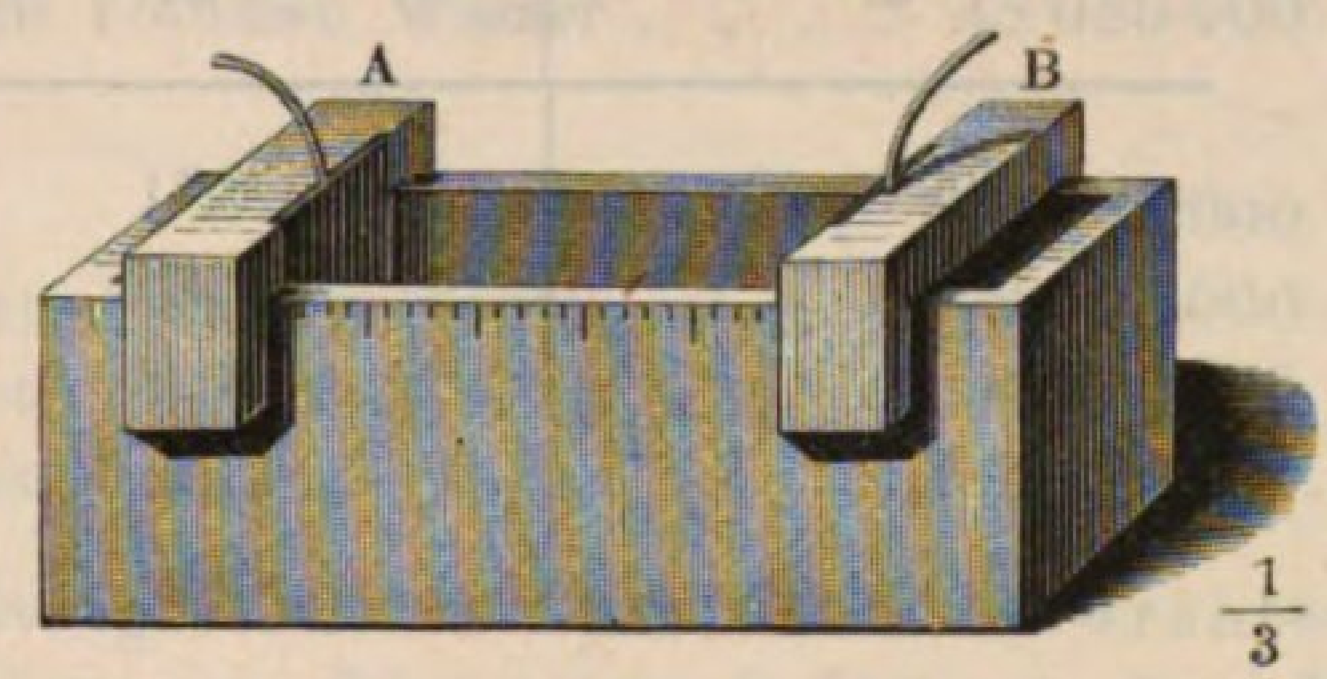
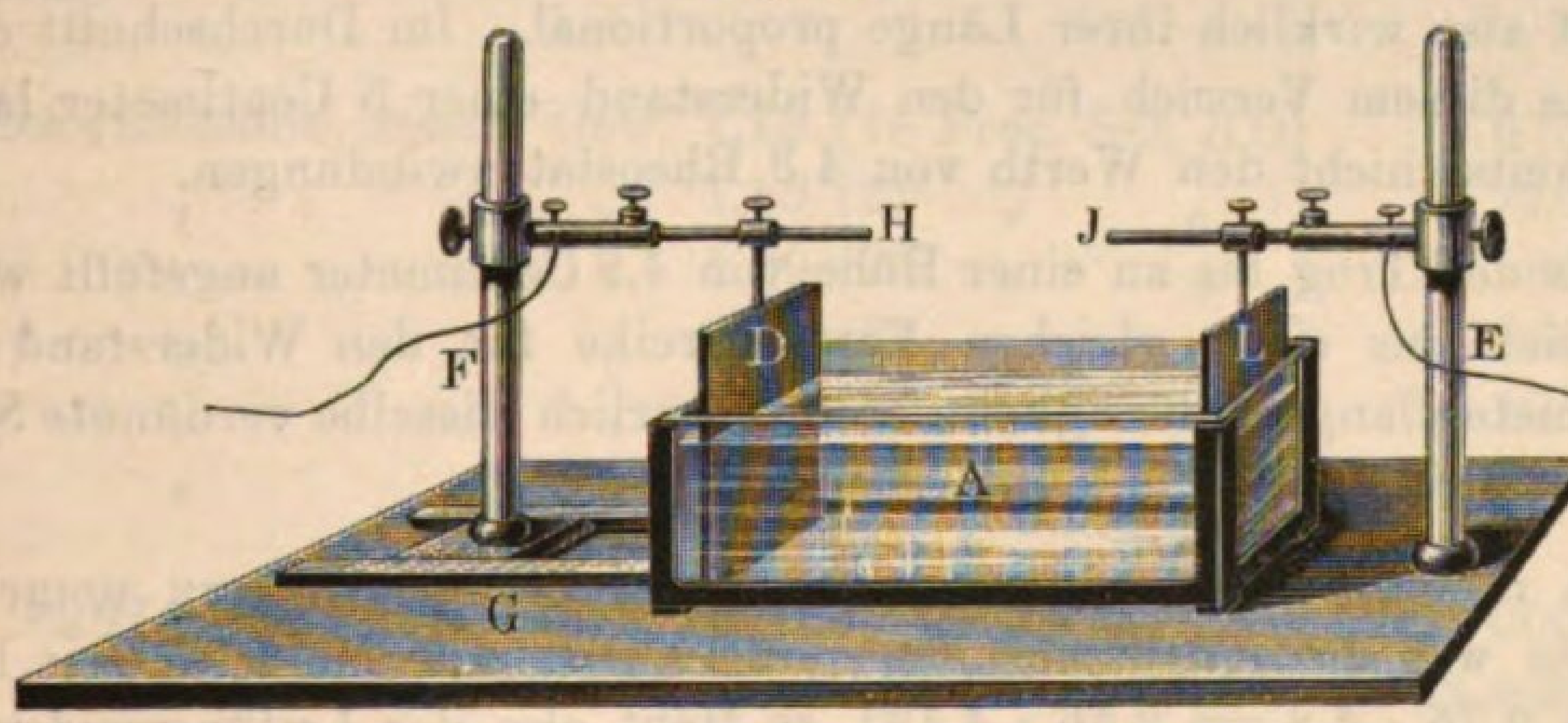


Fig. 271.



platten eingetaucht, welche fast den ganzen Querschnitt des Troges ausfüllen.

Fig. 271 zeigt einen aus Glasplatten zusammengesetzten Trog, dessen man sich statt des Horsford'schen Holztroges bedienen kann.

Zunächst hat Horsford gezeigt, dass Flüssigkeitssäulen in Beziehung auf Leitungswiderstand ganz dieselben Gesetze befolgen wie Metalldrähte, d. h. dass sich der Widerstand direct wie die Länge und umgekehrt wie der Querschnitt der flüssigen Schicht verhält.

Der Trog wurde mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt, die Platten in 2,5 Centimeter Entfernung gebracht und der Gesammtwiderstand so regulirt, dass die Nadel der Bussole auf einem bestimmten Punkte (etwa 20°) stand.

Die folgende Tabelle giebt nun an, und zwar in der zweiten Columne, wieviel Rheostatenwindungen (von Neusilberdraht) man aus dem Schliessungsbogen herausnehmen musste, um die Bussolennadel auf derselben Stelle zu erhalten, wenn der Abstand der Platten (bei unveränderter Anfüllungshöhe des Troges, nämlich 2,75 Centimeter) um die in der ersten Columne stehenden Werthe vergrössert wurde.

Abstand der Platten *d*.	Rheostatenwindungen *w*.	$\frac{d}{w}$
2,5 Centim.	2,11	1,185
5,0	4,25	1,176
7,5	6,98	1,074
12,5	10,75	1,163
25,0	20,67	1,209

Wie man sieht, behalten die entsprechenden Zahlen der beiden ersten Columnen nahe dasselbe Verhältniss, der Widerstand der Flüssigkeitssäule ist also wirklich ihrer Länge proportional. Im Durchschnitt erhält man aus diesem Versuch für den Widerstand einer 5 Centimeter langen Flüssigkeitsschicht den Werth von 4,3 Rheostatenwindungen.

Als der Trog bis zu einer Höhe von 4,8 Centimeter angefüllt wurde, ergab sich aus einer gleichen Versuchsreihe für den Widerstand einer 5 Centimeter langen Flüssigkeitssäule (natürlich dieselbe verdünnte Säure) der Werth von 2,56 Rheostatenwindungen.

Da nun die Anfüllungshöhen 2,75 und 4,8 sich nahezu umgekehrt verhalten wie die entsprechenden Widerstände 4,3 und 2,56 (wir haben nämlich 2,75 : 4,8 = 2,56 : 4,46), so steht also der Leitungswiderstand der flüssigen Säule im umgekehrten Verhältniss ihres Querschnitts.

97 Der specifische Leitungswiderstand der Flüssigkeiten.

Hat man einmal den Leitungswiderstand einer Flüssigkeitssäule mit dem eines Metalldrahtes verglichen, so ergiebt sich der specifische Leitungswiderstand der Flüssigkeit ganz einfach aus einer Vergleichung der Dimensionen der Flüssigkeitssäule mit denen des Drahtes. Auf diese Weise fand Becquerel folgende Werthe für den specifischen Leitungswiderstand verschiedener Flüssigkeiten, den des Silbers gleich 1 gesetzt:

Gesättigte Lösung von Kupfervitriol	18 450 000
„ „ „ Kochsalz	3 173 000
„ „ „ salpetersaurem Kupfer .	11 120 000
„ „ „ schwefelsaurem Zink . .	17 330 000
Verdünnte Schwefelsäure (220 CC. Wasser + 20 CC. (SO_3 + HO)	1 128 000
Käufliche Salpetersäure (specif. Gewicht 1,36) .	1 606 000

In Betreff des Einflusses, welchen der Concentrationsgrad der Lösungen ausübt, fand Becquerel folgende Resultate:

Schwefelsaures Kupferoxyd	Widerstand
Gesättigte Lösung	18 450 000
Verdünnt zum 2fachen Volumen Wasser	28 820 000
„ „ 4fachen Volumen Wasser	48 080 000
Kochsalz.	
Gesättigte Lösung	3 173 000
Verdünnt zum 2fachen Volumen Wasser	4 333 000
„ „ 3fachen Volumen Wasser	5 721 000
„ „ 4fachen Volumen Wasser	7 864 000.

Den specifischen Leitungswiderstand des Neusilberdrahtes zur Einheit nehmend, aus welchem sein Rheostat verfertigt war, fand Horsford folgende Werthe für den specifischen Leitungswiderstand von Flüssigkeiten:

Schwefelsäure, specif. Gew.	1,10	(16 Proc. SO_3 HO)	75 673
„ „ „	1,15	(21 „ „)	67 770
„ „ „	1,20	(28 „ „)	56 180
„ „ „	1,24	(33 „ „)	56 180
„ „ „	1,30	(40 „ „)	56 180
„ „ „	1,40	(51 „ „)	82 520

7,287	Grm. Zinkvitriol	in 100 CC.	Wasser . .	1 896 000
4,175	„ „	„ „	„ . .	2 663 400
15,093	„ Kupfervitriol	„ „	„ . .	972 320
7,547	„ „	„ „	„ . .	1 410 200
27,6	„ Kochsalz	„ 500 CC.	„ . .	577 100
21,3	„ „	„ „	„ . .	769 460
10,6	„ „	„ „	„ . .	1 488 200
5,3	„ „	„ „	„ . .	2 750 560

Den specifischen Leitungswiderstand des Platins zur Einheit nehmend fand Wiedemann folgende Zahlenwerthe für den specifischen Leitungswiderstand von verdünnter Schwefelsäure und von Kupfervitriollösungen.

31,17 Grm. Kupfervitriol in 1000 CC. Wasser . .	7 805 000
62,34 „ „ „ „ „ . .	4 202 000
77,92 „ „ „ „ „ . .	3 514 000
93,51 „ „ „ „ „ . .	3 178 000
124,68 „ „ „ „ „ . .	2 567 000
155,85 „ „ „ „ „ . .	2 181 000
187,02 „ „ „ „ „ . .	1 936 000
33,7 Grm. SO_3 in 1000 CC. Wasser	499 000
59,0 „ „ „ „ „	283 500
114,2 „ „ „ „ „	147 200
228,2 „ „ „ „ „	88 070
458,4 „ „ „ „ „	79 560
748,3 „ „ „ „ „	108 300
922,6 „ „ „ „ „	151 900
1240,4 „ „ „ „ „	322 700
1839,6 „ „ „ „ „	508 000

In Betreff der Zahlenwerthe, welche Schmidt, Becker u. A. für den specifischen Leitungswiderstand der Flüssigkeiten gefunden haben, müssen wir auf „Wiedemann's Lehre vom Galvanismus (Braunschweig bei Fr. Vieweg u. Sohn 1861) verweisen.

Die oben angegebenen Zahlenwerthe sind nicht unmittelbar mit einander vergleichbar, weil sie sich auf verschiedene Einheiten des specifischen Leitungswiderstandes beziehen. Eine Reduction auf eine und dieselbe Einheit lässt sich aber, wenigstens mit Genauigkeit, deshalb nicht ausführen, weil es an den nöthigen Daten fehlt, um zu ermitteln, welches das Verhältniss des specifischen Leitungswiderstandes der Silber-, Neusilber- und Platindrähte ist, mit welchen Becquerel, Horsford und Wiedemann experimentirt haben.

Das reine Wasser ist, wie bald gezeigt werden soll, für den galvanischen Strom ein fast vollkommener Isolator. Wird dem reinen Wasser ein Salz oder eine Säure zugesetzt, so nimmt die Leitungsfähigkeit der Lösung zuerst proportional der Menge des gelösten Stoffes zu; ein neuer Beweis, dass die Leitungsfähigkeit des Wassers gegen die des zugesetzten Stoffes verschwindend klein ist. Bei weiterem Zusatz nähert sich die Leitungsfähigkeit der Lösung einem Maximum (also ihr specifischer Leitungswiderstand einem Minimum), welches jedoch für schwer lösliche Stoffe, wie z. B. Kupfervitriol und Salpeter, selbst bei völliger Concentration der Lösung noch nicht erreicht wird. Nach Schmidt soll eine Kochsalzlösung mit 24,4 Proc. Salzgehalt das Minimum ihres Leitungswiderstandes erreichen (die gesättigte Lösung enthält ungefähr 26 Proc. Kochsalz). Für leichter lösliche Substanzen liegt das Minimum des Leitungswiderstandes noch weiter vom Sättigungspunkt der Lösung entfernt, so findet es sich z. B. für Zinkvitriol und salpetersaures Kupferoxyd ungefähr bei einer Lösung, welche doppelt so viel Wasser enthält als die

gesättigte Lösung dieser Salze. Verdünnte Schwefelsäure hat, übereinstimmend mit älteren Beobachtungen von De La Rive, ein Minimum des specifischen Leitungswiderstandes, wenn ihr specifisches Gewicht 1,20 bis 1,35 ist. Verdünntere und concentrirtere Schwefelsäure übt, wie auch die Tabelle auf S. 278 zeigt, einen stärkeren Leitungswiderstand aus.

Mit dem Salzgehalt einer Lösung nimmt die Zähigkeit derselben zu (d. h. die Beweglichkeit der Theilchen nimmt ab), während die Leitungsfähigkeit für den elektrischen Strom zunimmt. Nach den Untersuchungen von Wiedemann (Poggend. Annal. Bd. XCIX, S. 229) ist der Leitungswiderstand r einer Salzlösung ihrer Zähigkeit z direct und ihrem Salzgehalte n umgekehrt proportional, d. h. es ist

$$r = \frac{z}{n} . c,$$

wenn c einen constanten Factor bedeutet, welcher für jedes Salz einen besonderen Werth hat.

Mit der Temperaturerhöhung der Flüssigkeiten nimmt ihr Leitungswiderstand ab, offenbar weil die Zähigkeit abnimmt.

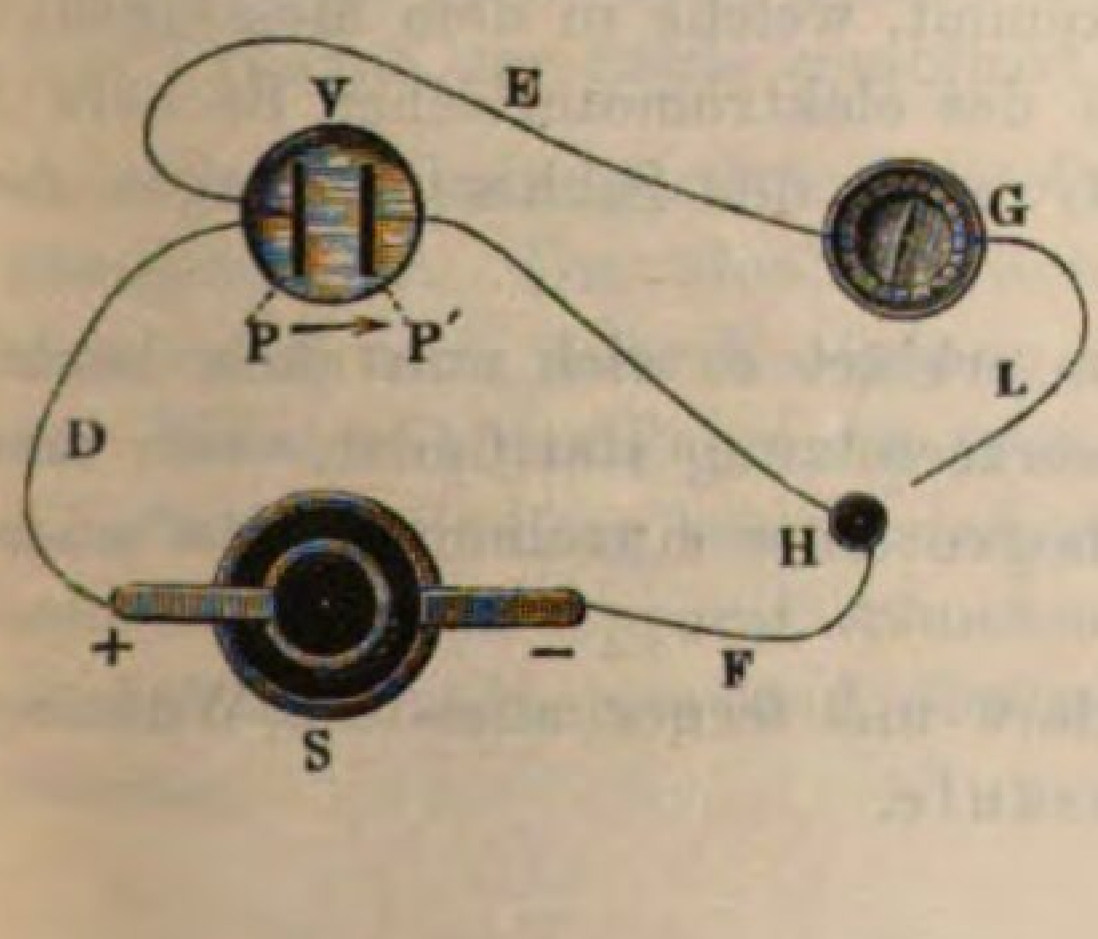
Nach Wiedemann ist z. B. der specifische Leitungswiderstand einer Lösung von 187 Grammen Kupfervitriol in 1000 CC. Wasser (den specifischen Leitungswiderstand des Platins gleich 1 gesetzt):

für 20° C.	1 907 000
„ 51° C.	1 163 000
„ 76° C.	894 000

Galvanische Polarisation. Da die Einschaltung eines Volta- 98
meters in den Schliessungsbogen einer Säule, wie wir in §. 96 gesehen haben, eine Verminderung der vorher wirksamen elektromotorischen Kraft zur Folge hat, so muss offenbar in dem Voltameter selbst eine elektromotorische Kraft auftreten, welche der in der Säule thätigen entgegengesetzt ist, welche also einen, dem primitiven entgegengesetzten Strom zu erzeugen strebt.

Dass die Tendenz zu einem solchen Gegenstrom vorhanden ist, lässt sich am besten dadurch zeigen, dass man diesen Strom wirklich zur Entstehung bringt. Es ist dies auf folgende Weise möglich:

Fig. 272.



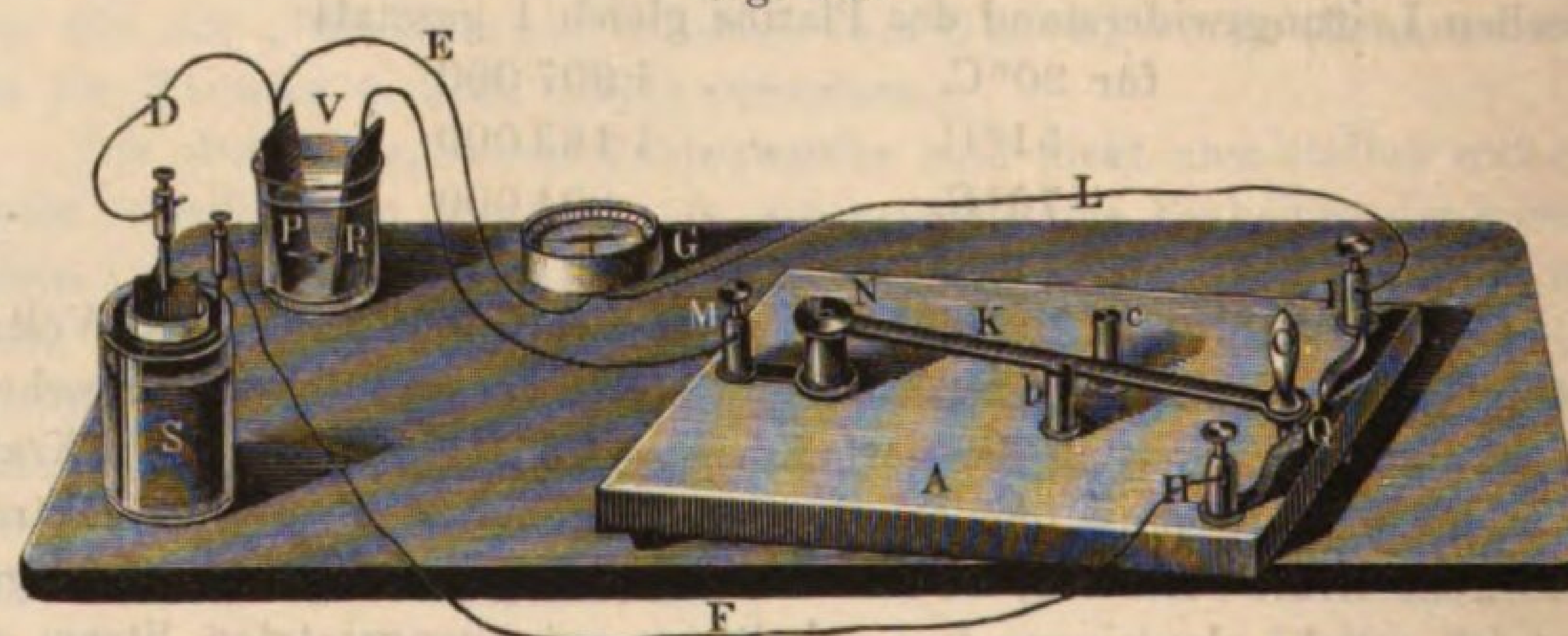
Man verbindet die eine Platinplatte P des Voltameters V, Fig. 272, durch einen Draht D mit dem positiven Pol des Zinkkohlenbechers S und zugleich durch den Draht E mit dem einen Ende der Drahtwindungen eines Galvanometers G. Vom anderen Pol der Säule führt ein Draht F zum Quecksilbernäpfchen H, in welches zugleich ein von der Platinplatte P' des Voltameters kommen-

der Draht eintaucht. Ist die Verbindung in dieser Weise hergestellt, so geht durch das Voltameter ein Strom in der Richtung des kleinen Pfeils. Nachdem der Strom nur kurze Zeit gedauert hat, wird der Draht *F* aus dem Quecksilbernäpfchen herausgenommen (also der Strom unterbrochen), dagegen der von *G* kommende Draht *L* in *H* eingetaucht und dadurch das Galvanometer in den Schliessungsbogen des Voltameters gebracht. Es erfolgt alsbald eine Ablenkung der Galvanometernadel in einer solchen Richtung, dass sie einen positiven, von *P'* nach *P* gehenden Strom andeutet, einen Strom also, welcher demjenigen entgegengesetzt ist, welchen vorher der galvanische Becher *S* durch das Voltameter hindurchgesendet hatte.

Diese durch den Strom selbst hervorgerufene elektromotorische Gegenkraft wird, wie schon oben bemerkt, mit dem Namen der **galvanischen Polarisation** bezeichnet.

Um abwechselnd das Voltameter in den Schliessungsbogen des Elektromotors und dann wieder das Galvanometer in den Schliessungsbogen des Voltameters zu bringen, kann man sich statt des Quecksilbernäpfchens auch des in Fig. 273 dargestellten Apparates bedienen, welcher wohl

Fig. 273.



ohne nähere Beschreibung verständlich sein wird. Wenn der Metallhebel *K* so steht, wie es die Figur zeigt, dass der an seinem Ende befestigte Metallstift *O* gegen die Metallfeder drückt, welche an dem Messingsäulchen *H* befestigt ist, so geht der Strom des Elektromotors durch das Voltameter *V*. Wird aber der Hebel *K* so weit zurückgedreht, dass der Metallstift *O* mit der Feder in Berührung kommt, welche in dem Messingsäulchen *I* befestigt ist, so ist der Strom des elektromotorischen Bechers *S* unterbrochen und das Galvanometer *G* ist in den Schliessungsbogen des Voltameters gebracht.

Durch die galvanische Polarisation erklärt es sich nun auch leicht, warum nur eine fast unmerkliche Wasserzersetzung stattfindet, wenn man ein Voltameter in den Schliessungsbogen eines einzelnen Volta'schen Elementes einschaltet.

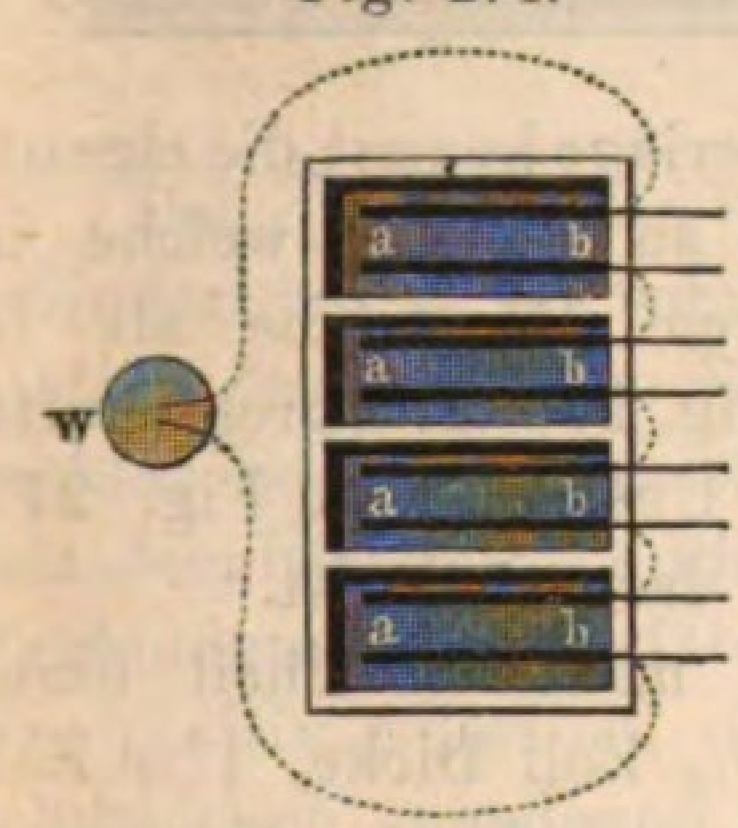
Die galvanische Polarisation erklärt uns ferner auch die Wirkung der von Ritter entdeckten Ladungssäule.

Wenn man eine Säule von Kupferscheiben und angefeuchtetem Papier aufbaut und die beiden Enden derselben mit den Polen einer Volta'schen Säule von hinlänglicher Spannung verbindet, so wird die secundäre Säule ganz in derselben Weise geladen, wie in dem eben betrachteten Falle die Platten des Voltameters. Wir haben eigentlich hier ja nur eine ganze Reihe solcher Zersetzungszellen, deren Platten sämmtlich polarisirt werden. Trennt man die secundäre Säule (auch so wird die Ladungssäule genannt) von der galvanischen Kette, welche zu ihrer Ladung diente, so ist sie nun selbst im Stande, die Erscheinungen einer Volta'schen Säule hervorzubringen; sie zeigt an dem einen Pole positive, am anderen negative Elektricität, und ihr Strom, welcher dem der ladenden Säule entgegengesetzt ist, kann vorübergehend selbst chemische Wirkungen hervorbringen.

Poggendorff hat gezeigt, wie man eine secundäre Säule mit einer einfachen Kette, etwa einem Grove'schen oder Bunsen'schen Becher, laden und durch die Entladung der Säule einen Strom hervorbringen kann, der ungleich stärkere Widerstände überwinden kann, als das zur Ladung angewandte Plattenpaar.

Fig. 274 stellt eine secundäre Säule dar, die aus vier Paaren von Platinplatten besteht; jedes Paar befindet sich in einem besonderen Troge. Wird nun die vordere Platte einer jeden Zelle mit dem einen, die gegenüberstehende mit dem anderen Pole des ladenden Bechers verbunden, so wird jedes Paar von Platinplatten geladen, und zwar ist die Ladung für alle Paare dieselbe. Wird nun die Verbindung mit dem Rheomotor aufgehoben, die Platinplatten nach dem Principe der Säule so verbunden, wie es durch die punktirten Linien angedeutet ist, und dann die secundäre Säule durch einen Bogen geschlossen, in welchen ein Voltameter *w* eingeschaltet ist, so entsteht ein Strom, welcher eine kräftige Wasserzersetzung bewirkt, während das ladende Element eine solche Zersetzung nicht hervorbringt. Der primäre Rheomotor hat nicht Spannung genug, um Wasser zu zersetzen, diese erhält man aber, wenn man die geladenen Platinplatten nach dem Principe der Säule combinirt.

Fig. 274.



Der Entladungsstrom der secundären Säule ist natürlich nur ein vorübergehender. Um eine merkliche Quantität Wasser zu zersetzen, muss man rasch nach jeder Entladung die Platinplatten wieder in entsprechender Weise mit den Polen des primären Rheomotors verbinden, um alsbald eine neue Entladung bewerkstelligen zu können. Poggendorff hat einen sehr sinnreichen Apparat erfunden, den er die Wippe nennt, mit Hülfe dessen die Ladungen und Entladungen sehr rasch ausgeführt werden können.

Neben den Zellen BB, welche die Platinplatten aufnehmen, und welche man Fig. 275 im Grundriss sieht, ist ein Brett AA angebracht, welches die Unterlage zur eigentlichen Wippe bildet. Es ist von hartem, dichtem Holz gemacht, 1 Zoll dick, $3^3/_4$ Zoll breit und, falls das Instrument zur Ladung einer Batterie von vier Plattenpaaren dienen soll, ungefähr 6 Zoll lang.

In dieses Brett sind bis zur Tiefe von ungefähr $^1/_2$ Zoll zwei Löcherreihen ho und $h'o'$ eingebohrt, welche paarweise durch Kupferdrähte, die an beiden Enden hakenförmig herabgebogen, oder auch durch Eisenstäbe, die in das Brett eingelassen sind, verbunden werden, wie es in unseren Figuren gezeigt ist. Die Löcher werden mit Quecksilber gefüllt.

Von der Platinplatte 1 geht ein Kupferdraht nach o', die Platte 1 ist also mit dem vordersten o' und o in leitender Verbindung; ebenso die Platte 2 mit den beiden folgenden Quecksilbernäpfchen h' und h u. s. w.

Damit die Verbindungsdrähte möglichst kurz seien, hat man die Unterlage AA durch ein Stativ oder durch Holzklötze in gleiche Höhe mit dem oberen Theil der Platinplatten und diesen recht nahe zu bringen.

Fig. 275.

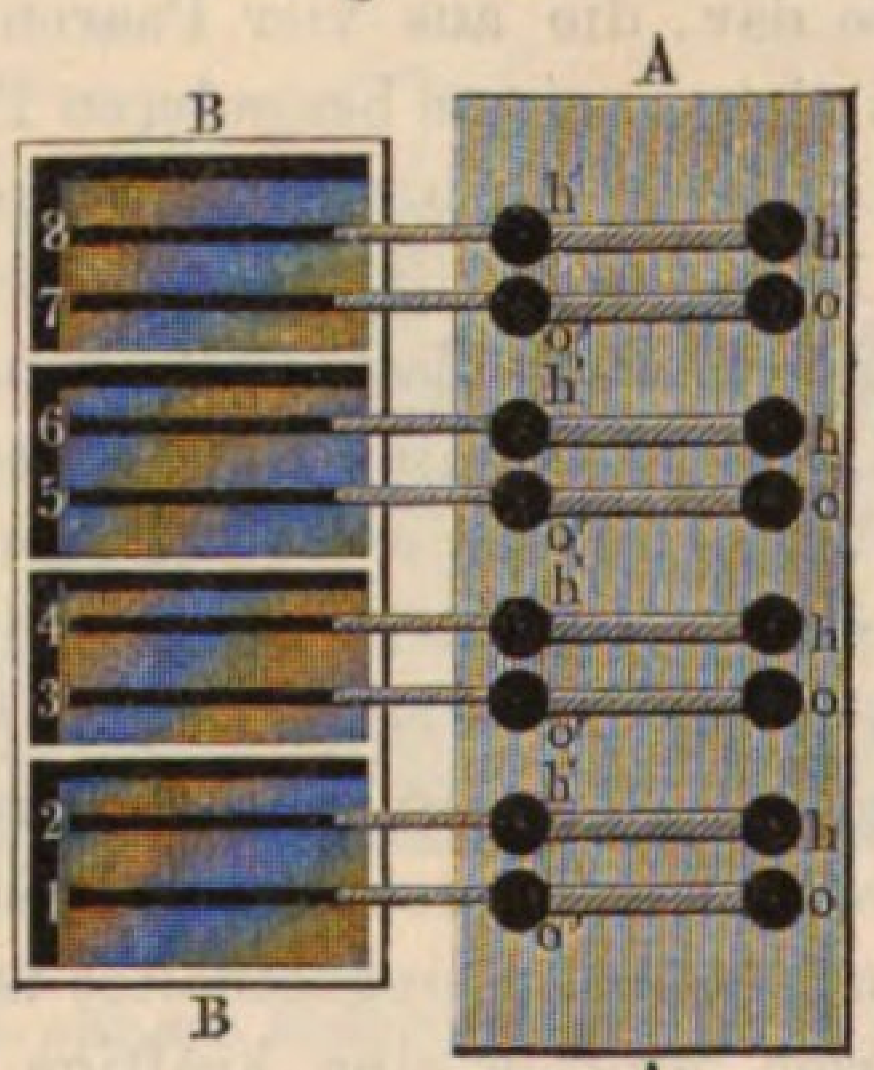
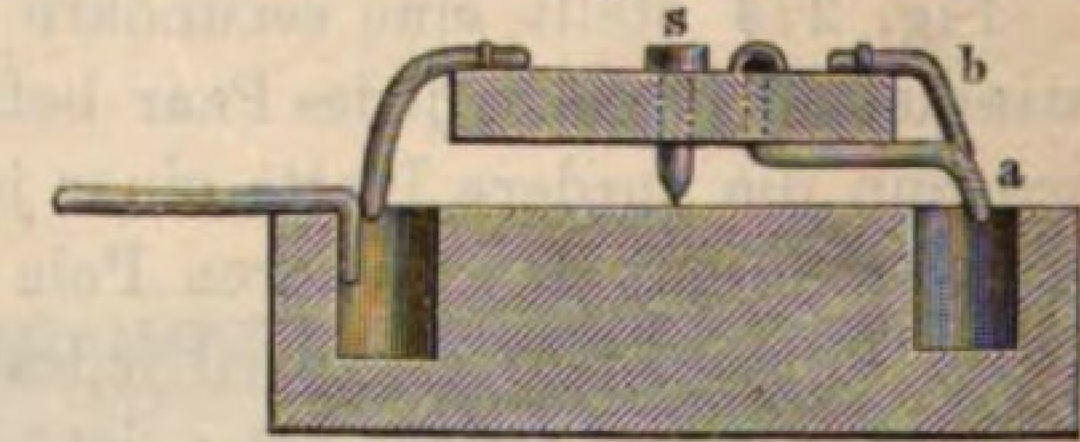


Fig. 276.



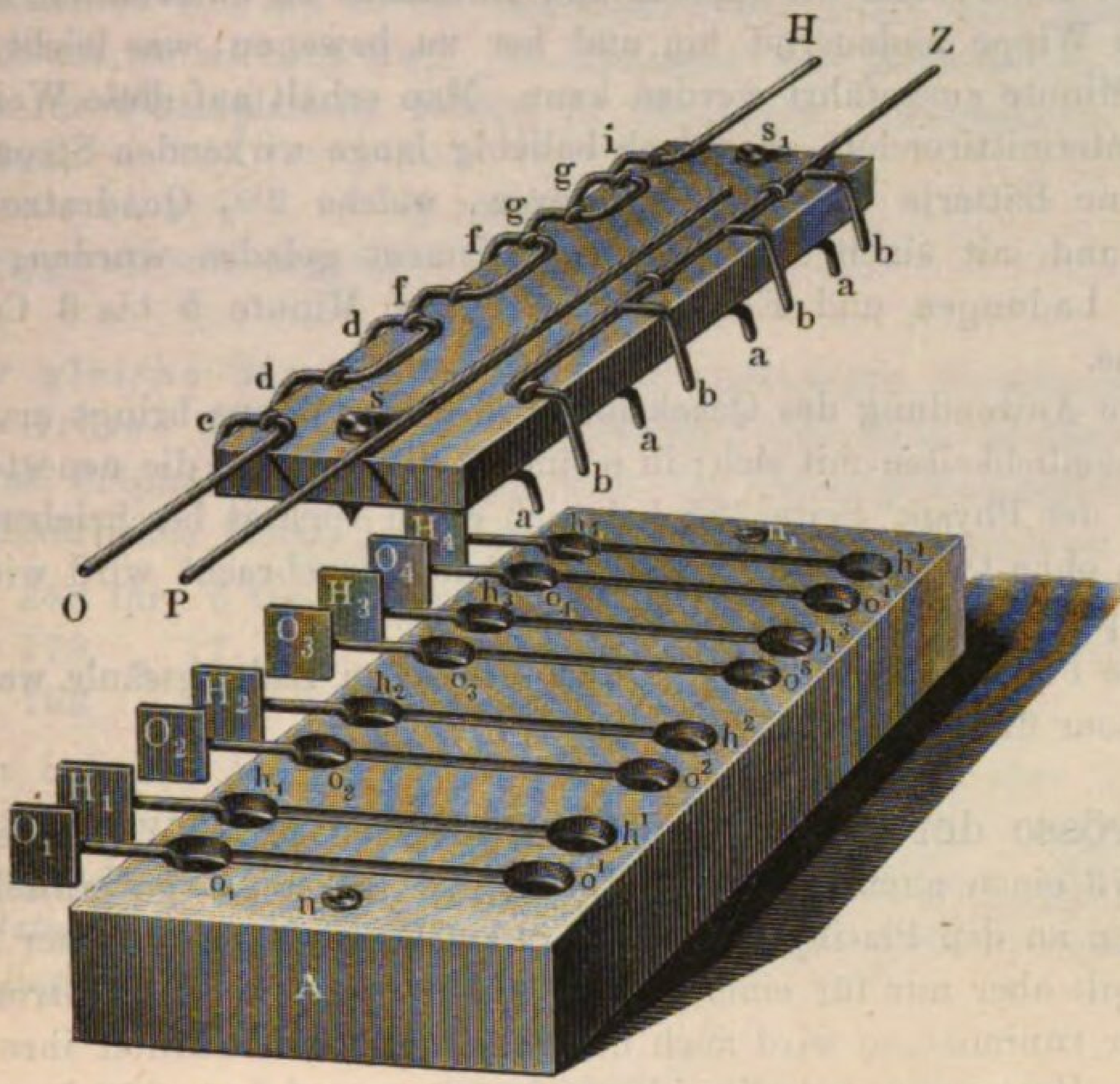
Auf die Unterlage kommt die eigentliche Wippe zu stehen, welche in etwas grösserem Maassstabe als in Fig. 275, in Fig. 276 im Durchschnitt, und mit der Unterlage in Fig. 277 perspectivisch dargestellt ist.

Durch den mittleren Theil eines Brettes von $^1/_3$ Zoll Dicke, $1^1/_2$ Zoll Breite und fast gleicher Länge mit der Unterlage gehen zwei stumpf zugespitzte Stifte s und s_1, welchen zwei Vertiefungen n und n' in der Unterlage entsprechen. Mittelst dieser Stifte stützt sich die Wippe auf die Unterlage in der Weise, dass sie entweder nach der einen oder anderen Seite neigt, so dass die an dem Brette befindlichen Haken entweder in die Quecksilbernäpfchen rechts oder links eintauchen.

Diese Haken sind von Kupferdraht. Auf der rechten Seite ist die Hälfte aller Haken, nämlich die mit b bezeichneten, an einem nach hinten verlängerten und dort mit Z bezeichneten Kupferdraht befestigt; die mit a bezeichneten Haken aber gehen durch das Brett hindurch zu einem nach vorn verlängerten und mit P bezeichneten Kupferdraht. Ist nun die Wippe auf die rechte Seite geneigt, so tauchen die mit a bezeichneten

Haken in die mit *o* bezeichneten Löcher, während die mit *b* bezeichneten Haken in die mit *h* bezeichneten Löcher eintauchen.

Fig. 277.



Bei Z ist nun ein Verbindungsdraht angeschraubt, welcher zum Zinkcylinder, bei P ein solcher, welcher zum Kohlencylinder (oder zur Platinplatte) des ladenden Rheomotors geht; wenn also die Wippe nach der rechten Seite geneigt ist, so sind dadurch die Platinplatten $O_1, O_2, O_3 \ldots$ mit dem Kohlen-, die Platinplatten $H_1, H_2, H_3 \ldots$ mit dem Zinkcylinder in Verbindung; die mit O bezeichneten werden also negativ, die anderen werden positiv polarisirt. (In Fig. 277 sind die fraglichen Platinplatten nur schematisch angedeutet.)

Auf der linken Seite der Wippe befindet sich nun ein anderes Hakensystem. Der vorderste c ist nach vorn (nach O) gebogen, der hinterste i nach hinten (nach H). Die beiden mit d bezeichneten Haken sind aus einem Stück Kupferdraht gemacht, ebenso die beiden mit f und die beiden mit g bezeichneten Haken. Wird nun die Wippe nach der linken Seite geneigt, so treten die Haken a und b aus dem Quecksilber ihrer Näpfchen heraus, die Haken c, d, f, g und i aber tauchen in die Näpfchen links ein. Durch die Haken d werden die Platten 2 und 3 der Fig. 275 (die Platten H_1 und O_2, Fig. 277) durch f 4 und 5, durch g 6 und 7 in leitende Verbindung gebracht, also die Platinplatten nach dem System der Säule combinirt. Bei H nun ist der eine Enddraht des Voltameters, bei O der

andere angeschraubt; sobald also die Wippe nach der linken Seite gelegt wird, werden die zuvor geladenen Platinplatten zur Säule verbunden, und diese Säule gleichzeitig durch das Voltameter geschlossen.

Um den Process des Ladens und Entladens zu unterhalten, hat man nur die Wippe andauernd hin und her zu bewegen, was leicht 100mal in der Minute ausgeführt werden kann. Man erhält auf diese Weise zwar einen intermittirenden, aber doch beliebig lange wirkenden Strom.

Eine Batterie von 4 Plattenpaaren, welche $2^1/_2$ Quadratzoll gross waren und mit einem Grove'schen Element geladen wurden, lieferte bei 80 Ladungen und Entladungen in der Minute 5 bis 6 Cubikzoll Knallgas.

Die Anwendung des Quecksilbers in dieser Wippe bringt mancherlei Unannehmlichkeiten mit sich; in meinem „Bericht über die neuesten Fortschritte der Physik“ Seite 355 habe ich einen Apparat beschrieben, durch welchen ohne Quecksilber derselbe Effect hervorgebracht wird wie durch die Wippe.

Die Platinplatten der Poggendorff'schen Ladungssäule waren mit Platinmoor überzogen.

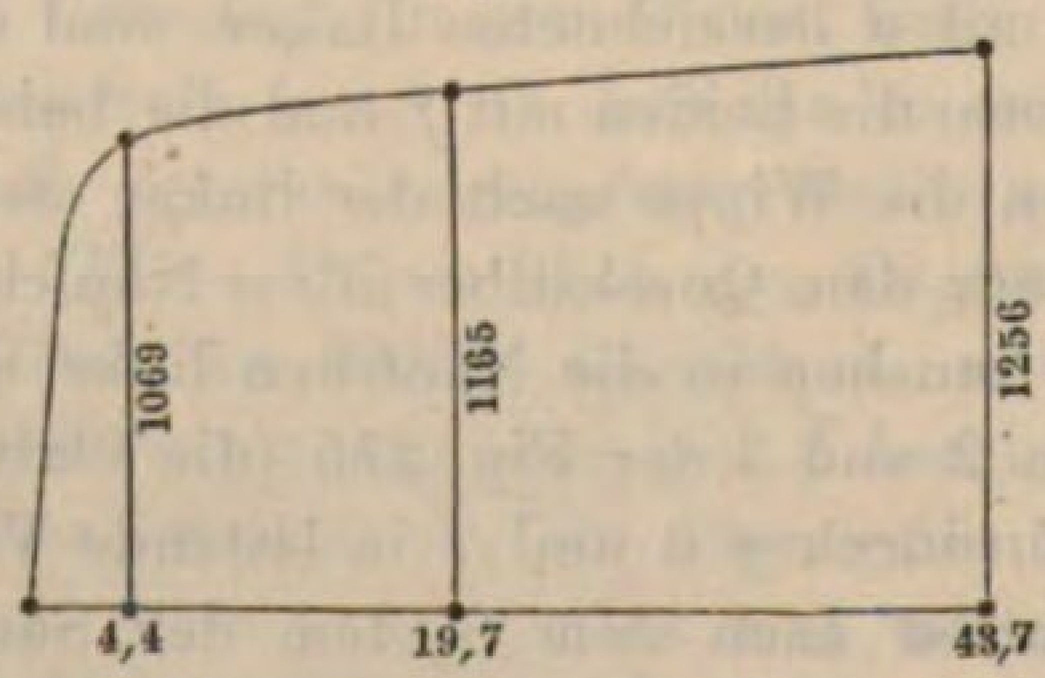
99 **Grösse der galvanischen Polarisation.** Wir haben oben Seite 273 einen numerischen Werth für die Grösse der galvanischen Polarisation an den Platinplatten des Voltameters erhalten. Dieser Zahlenwerth gilt aber nur für einen speciellen Fall, denn wenn die Stromstärke ab- oder zunimmt, so wird auch die galvanische Polarisation ihre Grösse ändern. Hätte man denselben Versuch, wie er auf Seite 272 beschrieben wurde, mit einer Säule von 4, von 2 rheomotorischen Bechern gemacht, so hätte man geringere Werthe für die Grösse der galvanischen Polarisation gefunden.

Buff's Vergleichung zwischen Stromstärke und Polarisationsgrösse gab folgende Resultate:

Stromstärke.	Polarisation.
43,7	1256
19,7	1165
4,4	1069

Nach diesen Zahlen ist die Curve Fig. 278 construirt, indem die Stromstärken als Abscissen, die entsprechende Polarisation als Ordinaten, und zwar jedes nach einem anderen willkürlichen Maassstabe aufgetragen sind. Während die Stromstärke von 0 bis 4,4 wächst, nimmt die Polarisation von 0 bis 1069 zu, während eine Steigerung der Stromstärke von 4,4 bis 43,7 nur noch eine Zunahme der Polarisation von 1069

Fig. 278.



bis 1256, also eine Zunahme um nur 187 bewirkt. Man sieht also, wie dies auch die Figur sehr übersichtlich zeigt, dass für ganz schwache Stromstärken die Polarisation sehr rasch und zwar der Stromstärke nahezu proportional wächst, um sich für grössere Stromstärken einem Maximum zu nähern.

Bezeichnen wir mit D die elekromotorische Kraft eines Daniell'schen Bechers, so ist nach Buff das Maximum der galvanischen Polarisation p für Platinplatten, welche in verdünnte Schwefelsäure eingetaucht sind,

$$p = 2{,}68\,D$$

nach Poggendorff aber ist

$$p = 2{,}33\,D.$$

Für gleiche Stromstärke ist die galvanische Polaristion auch von der Grösse der Polplatten abhängig, und zwar ist sie stärker für kleine Polplatten. Lenz fand z. B. für dieselbe Stromstärke nach einer willkürlichen Einheit gemessen die galvanische Polarisation gleich

240	für	6 Quadratlinien	grosse Platinelektroden.
178	„	17 „	
163	„	63 „	

Wir haben bisher nur Polplatten von Platin betrachtet Für andere Metalle ist die galvanische Polarisation weit geringer. So fand z. B. Lenz folgende Werthe der galvanischen Polarisation p an Platin- und Kupferplatten in verdünnter Schwefelsäure für die unter s angeführten Werthe der Stromstärke:

s	p Platinplatten	p Kupferplatten
48	131	41
21	126	36
5	114	32

Demnach wäre das Maximum der galvanischen Polarisation für Kupferplatten in verdünnter Schwefelsäure ungefähr 0,82 D. Svanberg fand für blanke Kupferplatten in verdünnter Schwefelsäure 0,79 D.

Nach Buff ist das Maximum der galvanischen Polarisation für

amalgamirte Zinkplatten in verdünnter Schwefelsäure . .	0,202 D
„ „ „ Zinkvitriol	0,109 D
Kupferplatten in Kupfervitriol	0,052 D
Positive Kupferplatte in verdünnter Schwefelsäure, negative in Kupfervitriol	0,000 D

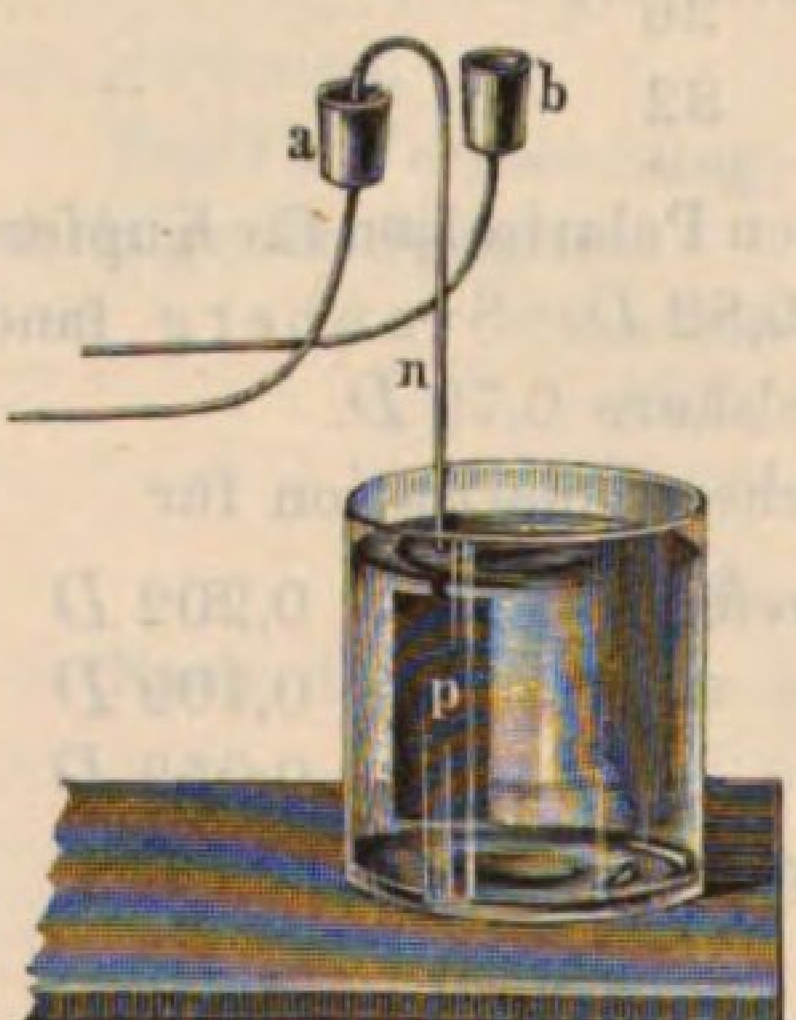
Ueber den Antheil, welchen jede der beiden Polplatten an der Gesammtpolarisation der Zerlegungszelle hat, haben Poggendorff, Svanberg und Beetz Versuche angestellt, und zwar die beiden erst Genannten, indem sie die eine der beiden polarisirten Platten durch eine reine ersetzten, während Beetz als positive Polplatte amalgamirtes Zinkblech anwandte, an welchem sich kein Sauerstoff ablagert, welches also an dieser

Stelle auch nicht polarisirt wird. Sie fanden übereinstimmend, dass der Antheil der beiden Platten gleich ist, d. h. dass die galvanische Polarisation einer jeden Platte die Hälfte der galvanischen Polarisation der ganzen Zelle beträgt. Da nun die galvanische Polarisation der beiden Platinplatten in verdünnter Schwefelsäure gleich 2,33 D ist, so ist die einer jeden Platte 1,16 D.

100 **Ursache der galvanischen Polarisation.** Was nun die Ursache der galvanischen Polarisation betrifft, so deutet alles darauf hin, dass sie in einer Gasschicht zu suchen sei, mit welcher sich die Platten des Voltameters in Folge der Wasserzersetzung bekleiden. Die negative Polplatte überzieht sich nämlich mit Wasserstoff und wird dadurch elektropositiv gegen die andere, die sich in gleicher Weise mit Sauerstoff bekleidet.

Für die Richtigkeit dieser Erklärung hat Schönbein directe Beweise gegeben. In ein Quecksilbernäpfchen *a*, Fig. 279, welches mit dem einen Drahtende eines nicht sehr empfindlichen Multiplicators in Verbindung steht, ist der Draht einer Platinplatte *p* eingetaucht, welche vorher wohl gereinigt sein muss, und die in ein Gefäss mit gesäuertem Wasser herabhängt. — Hängt man nun in das Näpfchen *b* den Draht einer zweiten, ganz gleichen Platinplatte, welche vorher ebenfalls gehörig gereinigt wurde, und die auch in die saure Flüssigkeit eintaucht, so bleibt die Multiplicatornadel ruhig, weil die beiden Platinplatten elektromotorisch gleich sind. Hat man aber die zweite Platinplatte, die wir mit *p'* bezeichnen wollen, vorher eine Zeit lang in eine Atmosphäre von Wasserstoff eingetaucht, so zeigt sie sich jetzt elektropositiv gegen die andere, die Multiplicatornadel wird in einer Richtung abgelenkt, welche zeigt, dass in der Flüssigkeit ein positiver Strom von *p'* nach *p* geht.

Fig. 279.



War die Platte *p'* in eine Atmosphäre von Chlor eingetaucht gewesen, so zeigt sie sich elektronegativ gegen *p*.

Hat die Platinplatte *p'* als negative Polplatte zur galvanischen Wasserzersetzung gedient, so verhält sie sich genau so, als ob sie in eine Flasche mit Wasserstoffgas eingetaucht gewesen wäre.

Versieht man die beiden Pole einer Säule mit kupfernen Polplatten, so werden diese in eine gesättigte Auflösung von Kupfervitriol eingetaucht gar keine galvanische Polarisation zeigen, und zwar aus folgendem Grunde. Das Kupfersalz wird durch den Strom in der Art zerlegt, dass Sauerstoff an der positiven, metallisches Kupfer aber an der negativen Polplatte ausgeschieden wird. Hier ist also jede Gasablagerung an den Platten unmöglich; die eine wird stets von Neuem mit Kupfer

überzogen und der an der anderen Platte ausgeschiedene Sauerstoff wird sogleich wieder durch die Oxydation des Kupfers weggenommen. Während auf der einen Platte sich Kupfer ablagert, wird die andere verzehrt.

Die Erscheinungen der galvanischen Polarisation geben uns nun auch Aufschluss über die Theorie der constanten Ketten. Der galvanische Strom zersetzt nicht allein die Flüssigkeit im Voltameter, sondern es findet eine ähnliche Zersetzung in jedem Becher, in jeder Zelle des Rheomotors statt. Der Sauerstoff wandert zur positiven Platte, welche in den meisten Fällen Zink ist, und oxydirt dieselbe; hier findet also keine Gasablagerung statt, die zu einer galvanischen Polarisation Anlass geben könnte; der Wasserstoff lagert sich aber auf der negativen Polplatte ab und kann also eine merkliche Verminderung der ursprünglichen elektromotorischen Kraft bewirken, die sich dann mit der Stromstärke ändert.

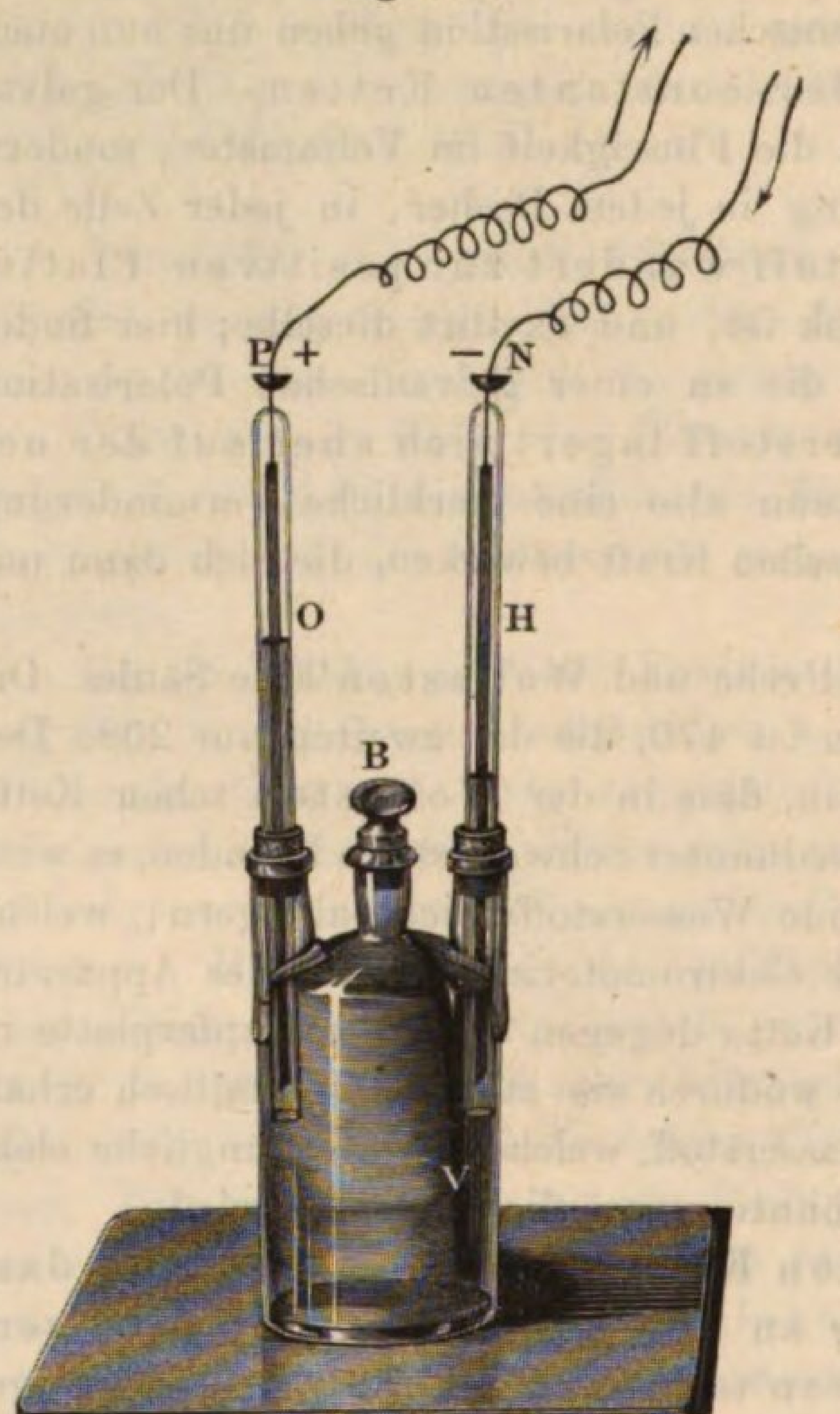
Vergleichen wir die Daniell'sche und Wollaston'sche Säule. Die elektromotorische Kraft der ersten ist 470, die der zweiten nur 208. Der Unterschied beider liegt nur darin, dass in der Wollaston'schen Kette das Kupfer wie das Zink sich in verdünnter Schwefelsäure befinden, es wird sich also auf der Kupferplatte eine Wasserstoffschicht ablagern, welche schwächend auf die ursprüngliche elektromotorische Kraft des Apparates wirkt. Bei der Daniell'schen Kette dagegen steht die Kupferplatte in einer Lösung von Kupfervitriol, wodurch sie stets rein metallisch erhalten und eine Ablagerung von Wasserstoff, welche die ursprüngliche elektromotorische Kraft schwächen könnte, unmöglich gemacht wird.

Das Wesen der constanten Ketten besteht also darin, dass eine Wasserstoffablagerung an der negativen Polplatte verhindert wird. Bei der Bunsen'schen und Grove'schen Kette geschieht dies dadurch, dass die negative Polplatte in Salpetersäure steht, welche den ausgeschiedenen Wasserstoff sogleich bei seiner Entstehung wieder oxydirt.

Grove's Gasbatterie. Die in den beiden letzten Paragraphen 101
besprochenen Thatsachen erklären nun auch die Wirkung der von Grove construirten Gasbatterie. Fig. 280 (a. f. S.) stellt ein einzelnes Element der Gassäule dar. Ein Glas V, welches mit drei Hälsen versehen ist, wird mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt und dann in die beiden seitlichen Hälse mittelst wohlschliessender Korke die Glasröhren O und H eingesteckt. Diese Glasröhren sind unten offen, oben geschlossen; in dem oberen Ende ist aber ein Platindraht eingeschmolzen, welcher oben ein Platinnäpfchen, unten aber ein fast bis zum unteren Ende der Röhre reichendes Streifchen von Platinblech trägt, welches mit Platinmoor überzogen ist. Sind die beiden Röhren eingesetzt, so werden sie zunächst mit verdünnter Schwefelsäure dadurch gefüllt, dass man den Hals bei B schliesst, und dann das ganze Gefäss umkehrt. Nachdem nun beide Röhren mit der Flüssigkeit gefüllt sind, lässt man in die eine mittelst eines durch

die Oeffnung bei B eingeführten Gasentbindungsrohres Sauerstoffgas, in die andere aber Wasserstoffgas aufsteigen, und dadurch wird der Apparat in ein galvanisch wirksames Plattenpaar verwandelt, und zwar so, dass das über dem Sauerstoff befindliche Quecksilbernäpfchen zum positiven, das andere zum negativen Pole wird, wie sich dies ohne Weiteres aus den beiden vorhergehenden Paragraphen ergiebt.

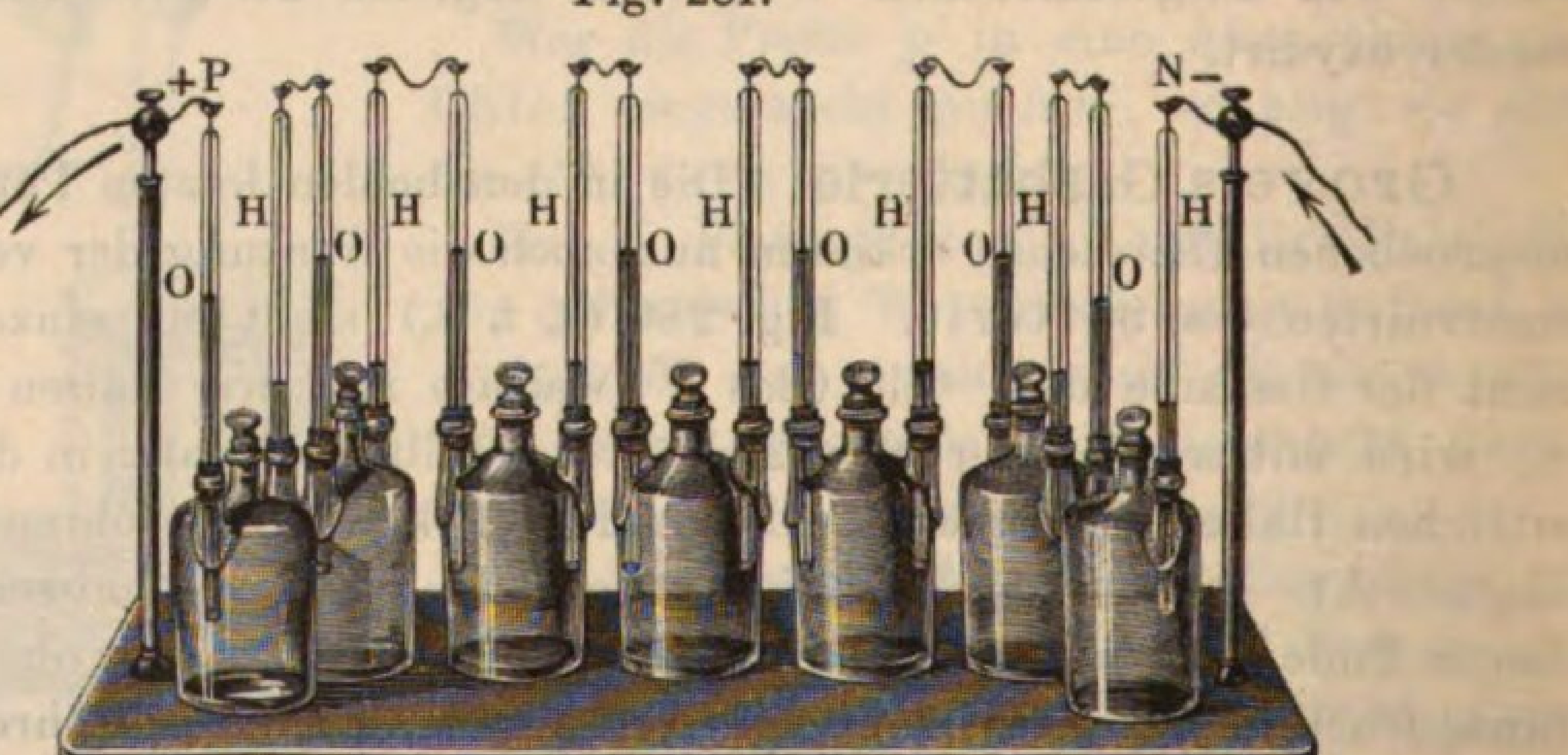
Fig. 280.



Wenn man mehrere solcher Gasbecher in der Weise zusammenstellt, wie es Figur 281 zeigt, und das Quecksilbernäpfchen einer jeden Wasserstoffröhre mit dem Quecksilbernäpfchen der Sauerstoffröhre des folgenden Glases in leitende Verbindung setzt, so erhält man eine Gassäule, deren Strom kräftig genug ist, um in einem zwischen die Pole derselben eingeschalteten Voltameter eine Wasserzersetzung zu bewirken.

Sobald durch die leitende Verbindung der beiden Pole der Gassäule der Strom hergestellt

Fig. 281.



ist, sieht man, dass die Gasmenge in den Röhren fortwährend abnimmt, und zwar ist die Menge des verschwindenden Wasserstoffgases doppelt so gross, als die des in gleicher Zeit verschwundenen Sauerstoffgases.

Die elektromotorische Kraft der Gassäulen hat Beetz nach der Poggendorff'schen Compensationsmethode (Pogg. Annal. LXXVII) bestimmt. Er fand die elektromotorische Kraft von

1)	Platin in	Sauerstoff	gegen	Platin in	Wasserstoff . .	0,972 *D*
2)	„ „	Sauerstoff	„	„ „	Wasser	0,137 *D*
3)	„ „	Wasser	„	„ „	Wasserstoff . .	0,819 *D*
4)	„ „	Chlor	„	„ „	Wasserstoff . .	1,217 *D*

Die Summe von 2 und 3 ist 0,957 *D*, also sehr nahe gleich der elektromotorischen Kraft von Nr. 1.

Die elektromotorische Kraft der mit Sauerstoff in Berührung stehenden Platinplatte einer Gassäule ist nur 0,137 *D*, während die elektromotorische Kraft der positiven Polplatte eines Platinvoltameters, wie wir am Schlusse des §. 99 gesehen haben, gleich 1,16 *D* ist. Daraus aber geht hervor, dass der an der positiven Polplatte des Voltameters ausgeschiedene Sauerstoff sich in einem anderen Zustande befinden muss, als der gewöhnliche Sauerstoff, mit welchem die Hälfte der Röhren der Gassäule gefüllt wird. Der in dem Voltameter elektrolytisch ausgeschiedene Sauerstoff ist ozonisirt, es ist activer Sauerstoff.

Passivität des Eisens. Taucht man einen Eisendraht in ver- 102
dünnte Salpetersäure von weniger als 1,35 specif. Gewicht, so wird er lebhaft angegriffen; taucht man ihn dagegen in concentrirte Salpetersäure, so wird er nicht von derselben angegriffen. Ja wenn er in die concentrirte Säure eingetaucht war, so kann man ihn nun selbst in weniger concentrirte Säure bringen, ohne dass er von derselben angegriffen wird. Durch das Eintauchen in concentrirte Säure ist also der Eisendraht gewissermaassen passiv geworden.

Die Behandlung mit concentrirter Salpetersäure ist jedoch nicht das einzige Mittel, wodurch man Eisen passiv machen kann. Wenn man einen Eisendraht in der Weingeistflamme bis zum Anlaufen erhitzt, so wird er dadurch gleichfalls passiv gemacht.

Fig. 282.

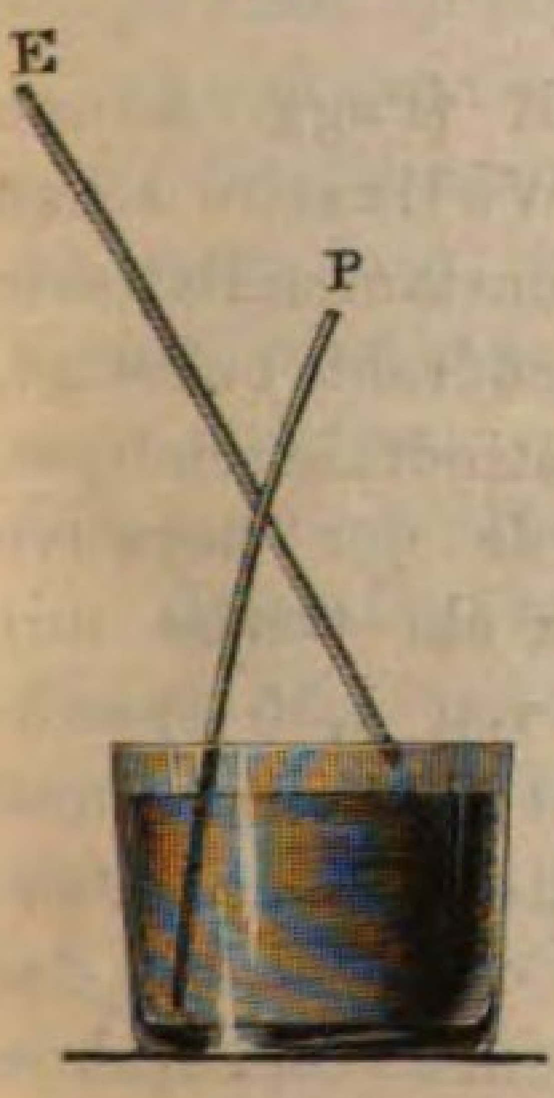


Fig. 283.



Taucht man in Salpetersäure von 1,35 specifischem Gewicht zuerst einen Platindraht *P*, Fig. 282, berührt man denselben mit einem wohl gereinigten Eisendraht, so wird derselbe nicht von der Säure angegriffen, wenn man ihn in die Flüssigkeit eintaucht, während er ausserhalb fortwährend mit dem Platindrahte in Berührung bleibt, obgleich derselbe Draht für sich allein lebhaft von der Säure angegriffen wird.

Taucht man statt des Platindrahtes das geglühte und dadurch passiv gemachte Ende eines Eisendrahtes in die Flüssigkeit, so kann dieser vollkommen die Rolle des Platindrahtes im vorigen Versuch übernehmen.

Fig 283 (a. v. S.) stellt eine Variation dieses Versuches dar. Das geglühte und dadurch passiv gemachte Ende eines Eisendrahtes werde in Salpetersäure von 1,35 specifischem Gewicht getaucht. — Es wird nicht angegriffen. Biegt man aber nun den Draht um, so wird auch das ungeglühte Ende *E* beim Eintauchen in die Flüssigkeit nicht angegriffen, während ein heftiger Angriff erfolgt, wenn man das ungeglühte Ende *E* in die Flüssigkeit eintaucht, ohne dass sich das geglühte Ende *P* schon darin befindet.

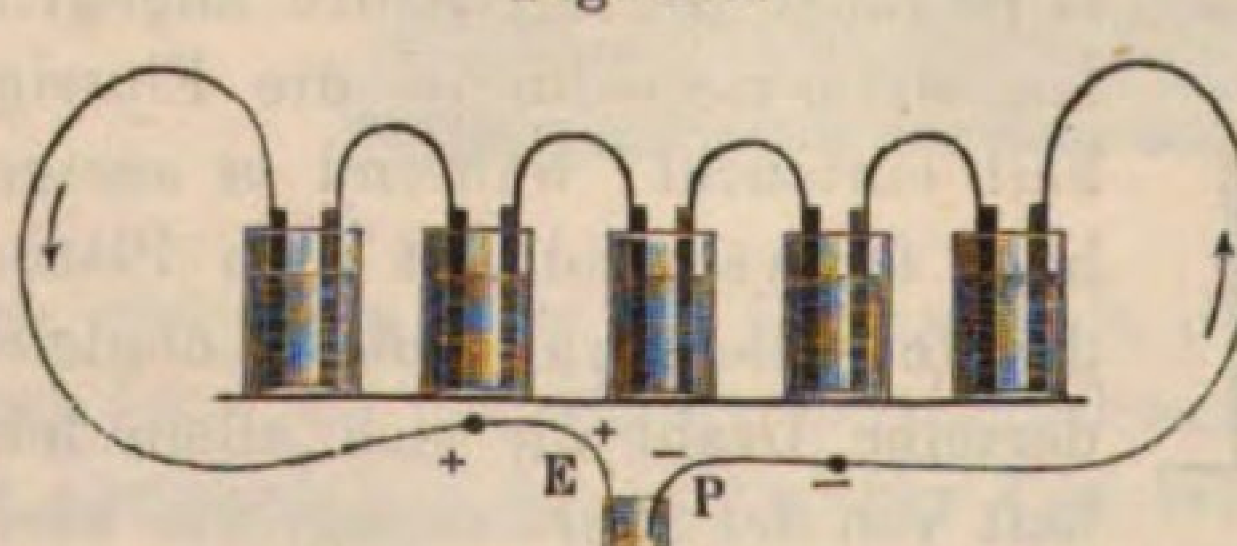
Hat man den Draht *E*, Fig. 282, in die Flüssigkeit eingeschoben, während er ausserhalb mit *P* in Berührung blieb, so kann man nun *P* ganz entfernen, ohne dass der Draht *E* seine Passivität verliert; ja man kann mit dem auf die erwähnte Weise passiv gemachten Drahte *E* die Passivität auf einen weiteren gewöhnlichen Eisendraht in derselben Weise übertragen, wie man sie von *P* und *E* übertrug.

Es ist klar, dass die durch das Glühen des Eisendrahtes gebildete Oxydulschicht den Eisendraht vor dem Angriff der Säure schützt, und dadurch ist die Idee nahe gelegt, dass das passive Eisen selbst in solchen Fällen, wo eine solche Schicht nicht sichtbar wird, z. B. beim Eintauchen in concentrirte Salpetersäure, dennoch diese Eigenschaft einer dünnen Oxydulschicht zu verdanken hat. — Dann aber zeigt der Umstand, dass man den Platindraht, Fig. 282, mit einem geglühten Eisendraht vertauschen kann, dass das durch Glühen gebildete Eisenoxydul ganz wie Platin functionirt, dass durch eine solche Oxydulschicht das Eisen gewissermaassen eine negative galvanische Polarisation erleidet.

In dem Fig. 282 dargestellten Versuch bildet *E* offenbar den positiven Pol einer einfachen Kette; es liess sich also erwarten, dass man Eisen auch dadurch passiv machen kann, dass man es als + Pol einer Volta'schen Säule in eine Säure taucht, die es an und für sich angreifen würde.

Schönbein hat den Versuch wirklich angestellt (Pogg. Annal. Bd. XXXVII, S. 391). An dem + Pol einer aus 15 Wollaston'schen Plattenpaaren bestehenden Säule (einige Becher einer constanten Batterie reichen zu diesem Versuche ebenfalls aus) war ein Eisendraht befestigt, während der negative Pol dieser Säule mit einem Platindraht endigte. Zunächst wurde der negative Platindraht in ein Gefäss mit Salpetersäure von 1,35 specifischem Gewicht eingetaucht und dann die Kette durch Eintauchen des mit dem + Pol der Säule verbundenen Eisendrahtes in dieselbe Säure geschlossen,

Fig. 284.



wie Fig. 284 andeutet; es zeigte sich dieser Eisendraht vollkommen passiv, d. h. er wurde von der Säure in keiner Weise angegriffen, und besass nach Abtrennung von der Säule dieselben Eigenschaften, wie ein durch Glühen passiv gemachter Draht.

Bleibt der passive Eisendraht fortwährend als + Pol der Kette in der Säure eingetaucht, so zeigt sich die merkwürdige Erscheinung, dass der in Folge der Wasserzersetzung an demselben ausgeschiedene Sauerstoff sich nicht etwa mit dem Eisen verbindet, sondern frei an demselben aufsteigt, gerade so, als ob der + Pol der Kette durch einen Platindraht gebildet würde. — Die Oxydschicht, welche sich unter den erwähnten Umständen gleich beim Eintauchen des Eisendrahtes in die Flüssigkeit bildet, schützt ihn vollkommen vor fernerer Oxydation.

Zum Gelingen dieses Versuches ist keineswegs Salpetersäure von 1,35 specif. Gewicht nöthig, man kann dieselbe noch über ihr 100faches Volumen mit Wasser verdünnen und immer noch wird der zuletzt in die Flüssigkeit eingetauchte eiserne + Pol der Säule passiv werden, immer noch wird an demselben ausgeschiedener Sauerstoff frei als Gas aufsteigen.

Ganz ähnliche Erscheinungen finden statt, wenn anstatt verdünnter Salpetersäure verdünnte Schwefelsäure oder Phosphorsäure angewendet wird. Soll in dieser Säure der Sauerstoff am positiven Eisendraht sich frei entwickeln, so muss ebenfalls der negative Pol der Säule zuerst in die Flüssigkeit eintauchen, und dann erst der mit dem positiven Pol verbundene Eisendraht in dieselbe eingeführt werden.

Taucht man den positiven eisernen Poldraht vor dem negativen Poldraht in die verdünnte Säure, so wird er angegriffen; ebenso wenig wird der Eisendraht passiv, wenn man ihn abgetrennt vom positiven Pol der Säule in die verdünnte Säure taucht, mag der negative Pol bereits in dieselbe eingeführt sein oder nicht. Kurz, wenn das Eisen passiv werden soll, so darf es der chemischen Einwirkung der verdünnten Säure nicht vor der Stromwirkung ausgesetzt sein.

Wendet man statt der verdünnten Säure in diesem Versuche die wässerige Lösung einer Sauerstoffverbindung an, welche nicht merklich chemisch auf das Eisen einwirkt, wie Lösungen von Alkalien und vollkommen neutralen Salzen, so wird das Eisen immer passiv, wie man auch die Kette schliessen mag; bei Anwendung von Kalilauge z. B. oder von Salpeterlösung wird das mit dem positiven Pole verbundene Eisen stets passiv, man mag nun den negativen oder positiven Pol zuerst in die Flüssigkeit tauchen. (Pogg. Annal. Bd. XXXVIII, S. 402.)

Darauf gründet sich die Construction von V o l t a m e t e r n, w e l c h e d u r c h P l a t t e n v o n E i s e n b l e c h g e b i l d e t s i n d, d i e i n K a l i l a u g e e i n t a u c h e n. In einem solchen Voltameter entwickelt sich der Sauerstoff frei an der positiven Polplatte, ohne das Eisen anzugreifen.

Es kann wohl als gewiss betrachtet werden, dass die Erscheinungen der Passivität des Eisens durch eine Oxydul- oder Oxydschicht vermittelt werden, welche einerseits das Eisen vor dem Angriffe der Säure schützt,

andererseits aber in ähnlicher Weise elektromotorisch wirkt wie die Bleihyperoxydschicht, welche eine Platinplatte bekleidet. Eine mit Bleihyperoxyd überzogene Platinplatte verhält sich nämlich gegen eine reine Platinplatte elektro-negativ.

Wie diese Schicht zusammengesetzt ist, unter welchen Bedingungen sie sich bildet, unter welchen sie sich auflöst, sind freilich Fragen, welche noch keineswegs für alle Fälle genügend beantwortet sind, doch liegt darin kein Grund, die oben angedeutete Basis der Erklärung zu verlassen.

Die Bildung der Oxydulschicht beim Glühen der Eisendrähte ist klar. — Damit sich eine ähnliche Schicht beim Eintauchen in eine Flüssigkeit bilden kann, ist es nöthig, dass dem Eisen die zur Bildung der Oxydschicht nothwendige Menge Sauerstoff zugeführt wird, bevor noch irgend eine andere chemische Einwirkung der Flüssigkeit auf das Eisen stattfinden kann.

Concentrirte Salpetersäure ist so reich an Sauerstoff, dass das blosse Eintauchen eines Eisendrahts in dieselbe genügt, um die passiv machende Schicht zu bilden.

In Flüssigkeiten, welche weniger sauerstoffreich sind, muss ein galvanischer Strom die Zuführung des Sauerstoffs an das Eisen unterstützen, wenn sich die Oxydhülle bilden soll, und zwar muss die den Strom erregende elektromotorische Kraft um so stärker sein, je weniger leicht ausscheidbaren Sauerstoff die Flüssigkeit enthält. In Salpetersäure von 1,35 specif. Gewicht genügt noch die Combination des Eisendrahtes mit Platin; bei verdünnter Schwefelsäure muss man schon eine Volta'sche Säule in Anwendung bringen.

Dass ein Eisendraht, welcher durch blosses Eintauchen in concentrirte oder durch Combination mit Platin in verdünnte Salpetersäure passiv gemacht worden ist, seinen vollen Metallglanz zeigt, kann keinen Grund abgeben, das Vorhandensein einer dünnen Oxydschicht in diesem Falle in Zweifel zu ziehen, denn diese Schicht muss bei wachsender Dicke die Schattirungen der Newton'schen Farbenringe durchlaufen; so lange also die Schicht nur noch eine den Farben der ersten Ordnung entsprechende Dicke hat, kann sie dem Metallglanz des Drahtes höchstens eine schwache Nüancirung ins Bläuliche oder Gelbliche ertheilen.

In elektromotorischer Beziehung steht die das Eisen passiv machende Schicht dem Platin sehr nahe.

Da das passive Eisen so stark elektronegativ ist, so erklärt sich nun auch leicht, wie es kommt, dass man die Platinplatte der Grove'schen oder den Kohlencylinder der Bunsen'schen Säule durch Eisen ersetzen kann, wie wir in §. 78 gesehen haben, vorausgesetzt, dass es immer in sehr concentrirte Salpetersäure zu stehen kommt.

Auch andere Metalle, namentlich Wismuth, Kupfer und Zinn, zeigen ähnliche Passivitätserscheinungen, nur in weit weniger ausgezeichneter Weise.

Wärmeentwickelung durch den galvanischen Strom. 103

Nachdem wir nun die wichtigsten Gesetze der Stromstärke kennen gelernt haben, gehen wir zur Betrachtung derjenigen Erscheinungen über, welche der elektrische Strom in den durchströmten Körpern hervorbringt, und zwar wollen wir zuerst seine Wirkungen auf Leiter erster Classe, d. h. auf Metalle untersuchen.

Wenn man einen galvanischen Strom durch einen Metalldraht hindurchleitet, so wird derselbe mehr oder weniger erwärmt. Um sich von dieser Thatsache zu überzeugen und das Verhältniss der Erwärmung zu der Stromstärke zu ermitteln, kann man den Fig. 285 dargestellten Apparat anwenden. In den Hals eines mit möglichst wasserfreiem Weingeist gefüllten Glasgefässes wird ein Kork eingesetzt, in welchem das Rohr eines Thermometers und zwei dicke Kupferdrähte stecken. Die unteren Enden der Kupferdrähte sind durch einen spiralförmig gewundenen dünnen Platindraht verbunden, dessen Enden an die Kupferdrähte angelöthet sind, und welcher ganz in den Weingeist eingetaucht sein muss. Wird nun dieser Platindraht mittelst der beiden Kupferdrähte in den Schliessungsbogen einer Volta'schen Säule eingeschaltet, so wird er erwärmt und giebt alsbald seine Wärme an den Weingeist ab, dessen Temperaturerhöhung man an dem Thermometer ablesen kann.

Fig. 285.



Joule und Lenz haben die Gesetze der Wärmeentwickelung, welche der galvanische Strom in Metalldrähten hervorbringt, näher untersucht, und sind fast zu denselben Resultaten gelangt.

Lenz wandte zu seinen Untersuchungen einen Apparat an, welcher dem in Fig. 285 abgebildeten ähnlich war; derselbe wurde mit einer Tangentenbussole (einer solchen, bei welcher der Strom in vielen Windungen um die Nadel geleitet war, so dass schon verhältnissmässig schwache Ströme einen merklichen Ausschlag gaben) in den Schliessungsbogen einer Daniell'schen Batterie gebracht. — Mittelst des Rheostaten wurde der Strom stets auf einer bestimmten Stärke erhalten; unterdessen wurde beobachtet, welche Zeit erforderlich ist, damit das Thermometer im Weingeist um eine bestimmte Anzahl von Graden steigt. Dabei wurde durch ein Herumdrehen des Apparates in einem kleinen Kreise die Flüssigkeit in eine rotirende Bewegung gebracht, wodurch eine gleichmässige Vertheilung der Temperatur im Inneren der Flüssigkeit erzielt wurde.

Um die Fehler zu vermeiden, welche durch den Wärmeverlust an die Umgebung veranlasst werden, wurde der Weingeist unter die Temperatur der Umgebung erkaltet in die Flasche eingefüllt, und der Versuch geschlossen, als seine Temperatur gerade um eben so viele Grade über die Lufttemperatur gestiegen war, als sie anfänglich darunter stand.

Um den Gang der Untersuchung verständlich zu machen, mag hier derselbe für eine Versuchsreihe ausführlich auseinandergesetzt werden.

Die Temperatur der Luft betrug 16° R. Der Weingeist wurde durch Eis bis auf 7° erkaltet in die Flasche eingefüllt und nach der Schliessung der Kette mittelst des Rheostaten die Nadel des Multiplicators fortwährend auf 35° erhalten; es wurden nun an einer Secundenuhr die Momente beobachtet, in welchen die Temperatur des Weingeistes 10, 11, 12, 13, 14 und 15 Grad betrug, dann ferner die Momente, in denen sie 16, 17, 18 u. s. w. bis 22 Grad war.

Es ergab sich, dass die Zeit, welche nöthig ist, um die Temperatur des Weingeistes von

15	bis 17,	also um	2°	zu erhöhen,		1,05	Minuten
14	„ 18	„	„ 4	„	„	2,22	„
13	„ 19	„	„ 6	„	„	3,25	„
12	„ 20	„	„ 8	„	„	4,30	„
11	„ 21	„	„ 10	„	„	5,43	„
10	„ 22	„	„ 12	„	„	6,53	„

betrug; daraus ergiebt sich, dass die Zeit t, welche nöthig war, um die Temperatur des Weingeistes um 1° zu erhöhen, im Durchschnitt 0,542 Minuten betrug.

Der Leitungswiderstand des Spiraldrahtes wurde dadurch ermittelt, dass man nach Entfernung des Apparates Fig. 285 aus dem Schliessungsbogen beobachtete, wie viel Rheostatenwindungen in die Schliessung noch eingeführt werden mussten, um den Strom wieder auf dieselbe Stärke zu bringen, welche er bei Einschaltung des Erwärmungsapparates gehabt hatte.

In der folgenden Tabelle sind die Resultate einer grossen Anzahl solcher Versuchsreihen zusammengestellt:

Es waren drei verschiedene Neusilberdrähte zu den Versuchen angewandt worden; der mit a bezeichnete war der dünnste, c war der dickste.

In dieser Tabelle bezeichnet s die Stromstärke und l den Leitungswiderstand des Drahtes in unseren Einheiten ausgedrückt; t ist die Zeit, welche nöthig ist, um die Temperatur des Weingeistes um 1° zu erhöhen. Wie der jedesmalige Werth von t als Resultat einer Versuchsreihe ermittelt wird, ist bereits oben angegeben worden.

Die Quantität des in die Flasche gegossenen Weingeistes war immer fast genau dieselbe und zwar im Mittel 90 Gramm.

Nummer der Versuchsreihe	Drahtsorte	s	t	l
1	Neusilber *a*	6,93	1,349	93,50
2	„	10,53	0,571	93,63
3	„	14,30	0,300	93,94
4	Neusilber *b*	10,53	0,920	58,76
5	„	14,30	0,481	58,64
6	„	18,32	0,288	59,01
7	„	14,30	0,457	60,16
8	Neusilber *c*	18,32	0,384	44,59
9	Platin	14,30	0,555	50,45
10	„	18,32	0,325	51,41
11	Eisen	22,69	0,435	24,92
12	Kupfer	18,32	1,301	13,90
13	„	22,69	0,835	13,90
14	„	27,52	0,575	13,92
15	„	32,98	0,381	14,01
16	„	27,52	0,544	14,31

Vergleicht man alle diejenigen Versuchsreihen mit einander, bei welchen die Stromstärke dieselbe war, so ergiebt sich, dass das Product von t und l sehr nahe constant bleibt. Es ergiebt sich:

Für den Strom 10,53:

2. Neusilber *a* . . $tl = 53,46$
4. Neusilber *b* . . $tl = 54,06$.

Für den Strom 14,30:

3. Neusilber *a* . . $tl = 28,18$
5. Neusilber *b* . . $tl = 28,11$
7. Neusilber *b* . . $tl = 27,49$
9. Platin $tl = 28,00$.

Für den Strom 18,32:

6. Neusilber *b* . . $tl = 16,99$
8. Neusilber *c* . . $tl = 17,12$
10. Platin $tl = 16,71$
12. Kupfer $tl = 18,08$.

Für den Strom 22,69:

11. Eisen $tl = 10,48$
13. Kupfer $tl = 11,60$.

Die Gleichheit der Werthe von tl für einen und denselben Strom ist so augenfällig, dass die Annahme gerechtfertigt ist, die Erwärmungszeit sei dem Leitungswiderstande umgekehrt proportional, oder mit anderen Worten, die Erwärmungen in bestimmter Zeit seien dem Leitungswiderstande direct proportional und unabhängig von der sonstigen Natur des Metalls.

Um die Abhängigkeit der Wärmeerzeugung von der Stromstärke zu ermitteln, müssen wir die Versuche zusammenstellen, welche mit demselben Drahte bei verschiedenen Strömen angestellt wurden; es zeigt sich alsdann, dass für denselben Draht s^2t nahezu eine constante Grösse ist. Es ergiebt sich nämlich:

Für den Neusilberdraht a:

1. $s^2t = 64{,}8$
2. $s^2t = 63{,}3$
3. $s^2t = 61{,}3$.

Für den Neusilberdraht b:

4. $s^2t = 102{,}0$
5. $s^2t = 98{,}4$
6. $s^2t = 96{,}7$
7. $s^2t = 93{,}5$.

Für den Platindraht:

9. $s^2t = 113{,}5$
10. $s^2t = 109{,}1$.

Für den Kupferdraht:

12. $s^2t = 436{,}6$
13. $s^2t = 429{,}9$
14. $s^2t = 435{,}5$
15. $s^2t = 414{,}2$
16. $s^2t = 412{,}0$.

Durch diese Versuche ist also dargethan:

1. Die Wärmeentwickelung ist dem Leitungswiderstande der Drähte proportional.
2. Die Wärmeentwickelung ist dem Quadrate der Stromstärke proportional.

Wenn demnach t die Zeit ist, welche erfordert wird, damit durch den Strom s bei dem Leitungswiderstande l eine gegebene Weingeistmasse um 1° R. erwärmt werde, so ist s^2tl die Zeit, welche nöthig ist, damit dieselbe Weingeistmasse eine Temperaturerhöhung von 1° R. durch die Einheit der Stromstärke bei der Einheit des Leitungswiderstandes erfahre. — Da nun die Weingeistmasse stets sehr nahe dieselbe war, so muss auch das Product s^2tl für alle in der Tabelle verzeichnete Versuchsreihen sehr nahe dasselbe sein. Es ergeben sich für das Product s^2tl für die verschiedenen Versuchsreihen folgende Werthe:

Versuchsreihe.	$s^2 t l$.	Versuchsreihe.	$s^2 t l$
1	6059	9	5726
2	5927	10	5609
3	5758	11	5975
4	5994	12	6069
5	5770	13	5976
6	5706	14	6062
7	5625	15	5803
8	5747	16	5896

Im Mittel also $s^2 t l = 5856$.

Die Masse des Weingeistes, welcher in den obigen Versuchsreihen erwärmt wurde, betrug sammt der zu erwärmenden, in Beziehung auf specifische Wärme auf Weingeist reducirten Glasmasse 118 Gramm.

Die Einheit der Stromstärke, welche durch einen Draht von demselben Leitungswiderstande hindurchgeht, entwickelt also so viel Wärme, dass dadurch die Temperatur von 118 Gramm Weingeist in 5856 Minuten um 1° R. erhöht wird.

Die specifische Wärme des zu den besprochenen Versuchen benutzten Weingeistes ist 0,7; eine bestimmte Temperaturerhöhung von 118 Grammen Weingeist erfordert also eben so viel Wärme, wie eine gleiche Temperaturerhöhung von 118 . 0,7 = 82,6 Grammen Wasser. Für 1 Gramm Wasser beträgt also jene Zeit

$$\frac{5856}{82,6} = 70,9 \text{ Minuten},$$

oder wenn man statt der Réaumur'schen Grade Celsius'sche einführt,

$$70,9 \cdot 0,8 = 56,72 \text{ Minuten},$$

d. h. wenn die Einheit der Stromstärke einen Draht durchläuft, dessen Widerstand gleich ist dem eines Kupferdrahtes von 1 Meter Länge und 1^{mm} Durchmesser, so wird dadurch eine solche Wärmemenge erzeugt, dass sie die Temperatur von 1 Gramm Wasser in $56^3/_4$ Minuten um 1° C. erhöht.

Nehmen wir, wie es gewöhnlich geschieht, als Wärmeeinheit diejenige Wärmemenge an, welche die Temperatur von 1 Kilogramm Wasser um 1° erhöht, so ergiebt sich also aus obigen Untersuchungen, dass die Einheit der Stromstärke, die Einheit des Widerstandes durchlaufend, in demselben in einer Stunde 0,001057 und in einer Minute 0,0000176 Wärmeeinheiten erzeugt.

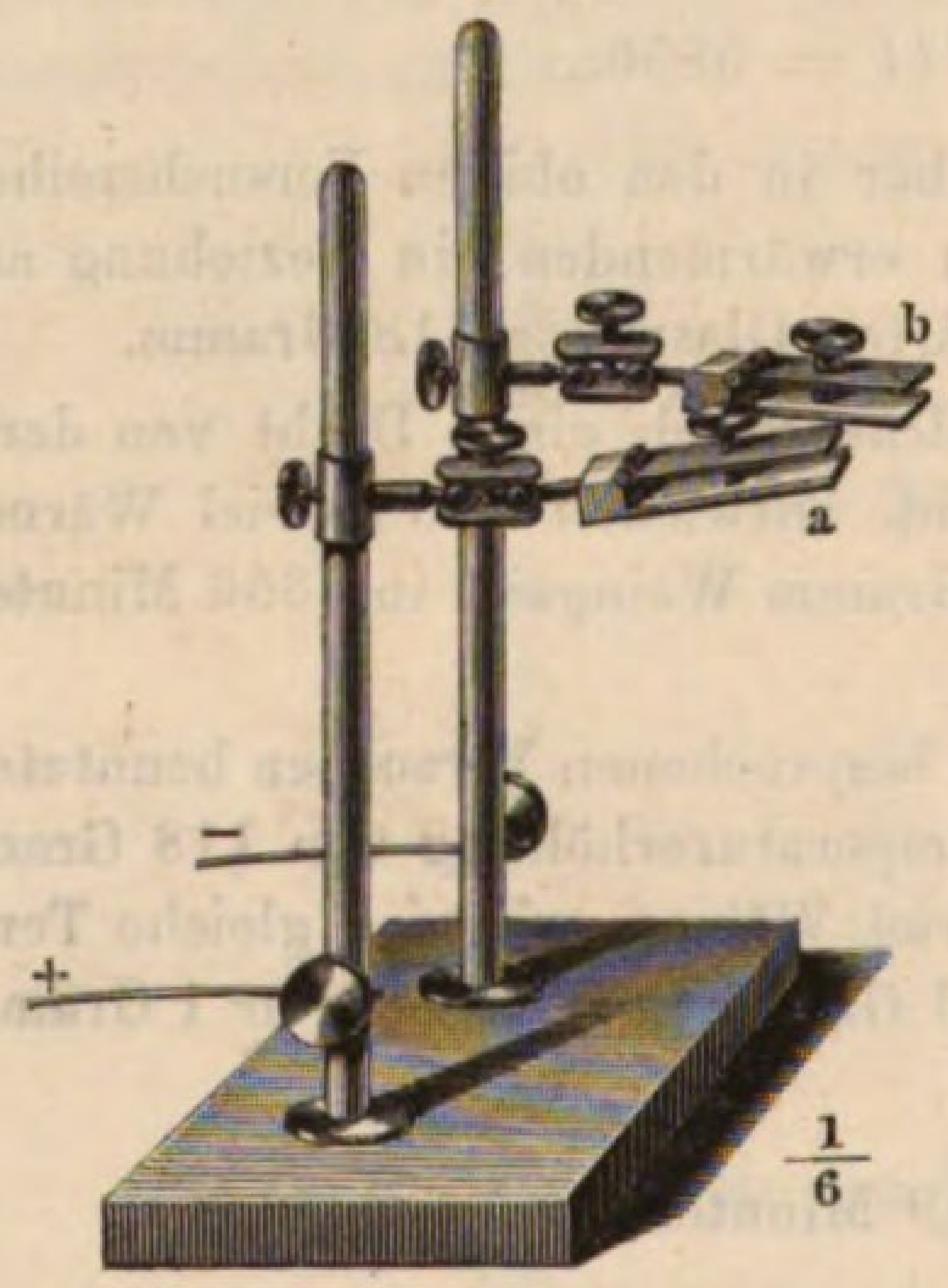
Glühen von Metalldrähten durch den galvanischen Strom. 104 Während über die Glüherscheinungen von Metalldrähten durch den Entladungsschlag der Leydener Flasche die schönen Arbeiten von Riess Licht verbreitet hatten, fehlte es an entsprechenden Untersuchun-

gen über das galvanische Glühen, obgleich diese mit weniger Schwierigkeiten verbunden sein dürften als jene.

Um diese Lücke wenigstens theilweise auszufüllen, habe ich eine Versuchsreihe angestellt, welche in meinem „Bericht über die neuesten Fortschritte der Physik" Seite 384 ausführlich mitgetheilt worden ist. Ich entnehme von dort Folgendes:

Zum Befestigen der zu untersuchenden Drahtstücke diente der Polhalter Fig. 286. Er besteht aus zwei ungefähr um 12 Zoll von einander abstehenden Messingsäulen, in welche unten die Poldrähte der Batterie eingeklemmt sind und an welchen man Messinghülsen auf- und abschieben und in jeder beliebigen Stellung feststellen kann. Diese Messinghülsen tragen durch Vermittelung von Kugelgelenken die Zangen a und b, in welche die Enden des Drahtes eingeklemmt werden.

Fig. 286.



Die Kette wurde stets erst dann geschlossen, nachdem der zu untersuchende Draht in dem Schliessungsbogen gehörig befestigt war. — Das Maximum des Glühens stellte sich nicht momentan nach der Schliessung ein, sondern es dauerte namentlich bei längeren und dickeren Drähten stets eine Anzahl von Secunden, bis das der Stromstärke entsprechende Glühen sich vollständig einstellte.

Ausser dem zu prüfenden Drahte war auch noch eine Tangentenbussole in den Schliessungsbogen eingeschaltet, um jederzeit die Stromstärke zu messen. Der Reductionsfactor für dieses Instrument ist 70.

Zuerst wurde der Einfluss der Länge des Drahtes auf die Glüherscheinung untersucht, indem der Reihe nach verschieden lange Stücke desselben Drahtes in den Schliessungsbogen gebracht wurden. Mehrere solche Versuchsreihen führten zu dem Resultat, dass ein und derselbe Draht bei gleicher Stromstärke auch stets dieselbe Glüherscheinung zeigt, welche Länge er auch haben mag.

Für einen Platindraht von 0,45^{mm} Durchmesser trat bei verschiedener Länge des in den Schliessungsbogen eingeschalteten Stückes stets ein stellenweises schwaches Glühen bei einer Stromstärke ein, welche der Ablenkung von 45^0 bis 46^0 an der Tangentenbussole entspricht. Mit einer Säule von 40 nicht stark geladenen Zinkkohlenbechern erzielt man diese Glüherscheinung an einem Drahtstück von 1,3 Meter Länge. Eine Säule von 24 solchen Bechern bringt die oben genannte Stromstärke und die-

selbe Glüherscheinung an einem 0,5 Meter langen und endlich eine Säule von 12 Bechern an einem 0,4 Meter langen Drahtstück hervor.

Das Rothglühen trat bei verschiedenen Längen stets mit einer Stromstärke ein, welche an der Tangentenbussole 48° Ablenkung bewirkte.

Hellrothglühen trat bei einer Ablenkung von 50° bis 51° ein.

Eisendrähte von 0,42mm Durchmesser glühten stellenweise bei einer Ablenkung von 32° bis 33°; sie wurden stark rothglühend bei 35°.

Wenn der Draht über eine gewisse Grenze verkürzt wird, so wirkt die Wärmeableitung durch die metallenen Halter störend auf die Glüherscheinung ein. Ein Platindraht von 0,21mm Durchmesser und 3 Centimeter Länge durch zwei starke messingene Klammern gehalten, wurde in den Schliessungsbogen eines Bunsen'schen Bechers gebracht, bis zum schwachen Rothglühen erwärmt, während die Tangentenbussole 26° Ablenkung zeigte; als aber derselbe Draht bis auf 1 Centimeter verkürzt wurde, stieg die Ablenkung der Tangentenbussole bis auf 34°, ein Glühen wurde aber nicht mehr beobachtet.

Betrachten wir nun den Einfluss, welchen die Dicke der Drähte auf die Glüherscheinung ausübt.

Die folgende Tabelle giebt die Resultate einer Versuchsreihe, welche mit Platindrähten von 1 Decimeter Länge und veränderlichem Durchmesser angestellt wurde.

Durchmesser D	Grad des Glühens	Ablenkung v	Stromstärke $s = 70 \, tang \, v$	$\frac{s}{D}$
0,3mm	Schwaches Glühen	34°	47,18	163,9
„	Rothglühen	36	50,82	169,4
„	Hellrothglühen	38	54,67	182,2
„	Fast Weissglühen	42	63,00	210,0
0,39	Schwaches Glühen	43	65,24	163,7
„	Rothglühen	46	72,45	185,5
„	Hellglühen	48	77,77	199,5
0,45	Schwaches Glühen	47	75,06	166,6
„	Rothglühen	48	77,77	172,2
„	Hellrothglühen	50,3	84,42	187,6
„	Fast Weissglühen	56	103,74	230,3
0,75	Rothglühen	60	121,24	161,7
„	Hellrothglühen	66	157,22	209,3

Diese Versuchsreihe rechtfertigt die Annahme, dass, um denselben Grad des Glühens hervorzubringen, die Stromstärke dem Durchmesser der Drähte proportional sein muss; nach diesem Gesetze muss für denselben Grad des Glühens der Quotient der Drahtdicke in die entsprechende Stromstärke eine constante Grösse sein.

Dieser Quotient ist nach obigen Versuchen im Mittel:

für schwaches Glühen	165
für Rothglühen	172
für helles Rothglühen	195
für anfangendes Weissglühen	220

Eine entsprechende Versuchsreihe mit Eisendraht gab ähnliche Resultate. Der Quotient $\frac{s}{D}$ hatte im Mittel für eiserne Drähte folgende Werthe:

für schwaches Glühen	121
für Rothglühen	135

Versuche mit Kupferdraht ergaben im Mittel:

für schwaches Glühen	389
für Rothglühen	433.

Die oben mitgetheilten Mittelwerthe des Quotienten $\frac{s}{D}$ geben die Grösse der Stromstärke an, welche nöthig ist, um einen Draht von 1^{mm} Durchmesser in den entsprechenden Glühzustand zu versetzen. Diese Zahlenwerthe sind jedoch nur als erste Annäherungen zu betrachten.

Ist s die Stromstärke, welche einen Draht von 1^{mm} Durchmesser glühend macht, so ist dem oben ermittelten Gesetz zufolge $s\,d$ die Stärke des Stromes, welcher einen Draht desselben Materials, dessen Durchmesser d Millimeter beträgt, bis zu demselben Grad des Glühens bringt.

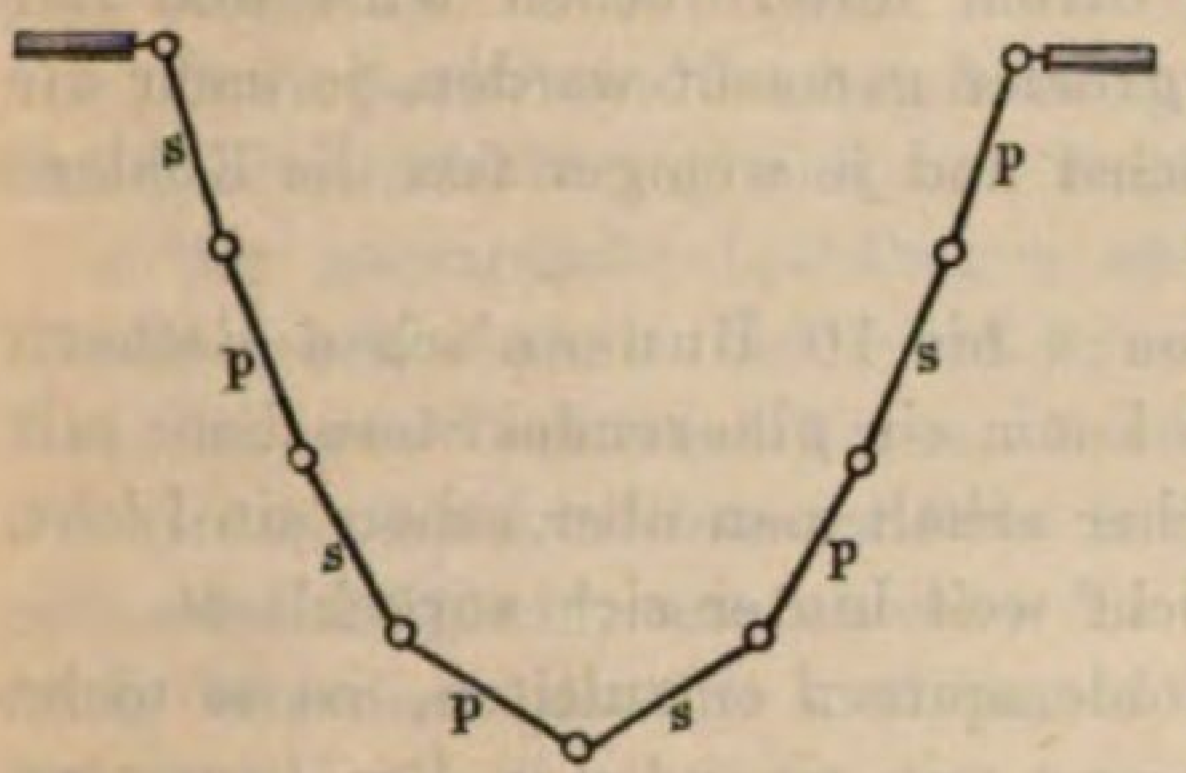
Dieser Satz, welchen ich freilich nur durch Schätzung mit dem blossen Auge gefunden hatte, steht nun im Widerspruch mit dem in § 103 besprochenen Lenz'schen Gesetze. Später angestellte genauere Versuche von Zöllner, bei welchen er die Helligkeit der galvanisch glühenden Drähte nicht mit blossem Auge schätzte, sondern einer photometrischen Vergleichung unterwarf, ergaben, dass das Verhältniss zwischen Lichtstärke, Drahtdicke und Stromstärke in folgender Weise ausgesprochen sei: Damit verschieden dicke Drähte desselben Metalls gleiche Lichtmengen ausstrahlen, muss die Stromstärke den Durchmessern proportional sein, was mit dem Lenz'schen Gesetze vollkommen harmonirt.

Zöllner fand ferner, dass *caeteris paribus* die Lichtstärke des glühenden Drahtes in einem rascheren Verhältniss wächst, als die Stromstärke, was namentlich für die grünen und blauen Strahlen gilt (vergl. Bd. I, §. 246).

Dass schlecht leitende Metalle bei gleicher Stromstärke stärker glühen als gut leitende, lässt sich sehr schön mit einer Kette, Fig. 287, zeigen,

deren Glieder abwechselnd aus gleich dicken und gleich langen Stücken von Silber- und Platindraht bestehen. Bei einer bestimmten Stromstärke werden alle Platindrähte bereits lebhaft glühen, während die Silberdrähte noch ganz dunkel sind.

Fig. 287.



Man hat das galvanische Erglühen kurzer dünner Eisendrähte mit Erfolg zum Entzünden von Minen in Anwendung gebracht, wir wollen jedoch hier nicht näher auf diesen Gegenstand eingehen, da sich der Inductionsfunken für diesen Zweck noch als ungleich vortheilhafter bewährt hat.

Der galvanische Flammenbogen. Eine bedeutende Steigerung des Licht- und Wärmeeffectes tritt ein, wenn man die beiden Leiter, welche als Pole der Säule dienen, in Berührung bringt und dann, nachdem der Strom sich gebildet hat, sie wieder etwas von einander entfernt. Ist einmal der Strom eingeleitet, so wird er durch diese Trennung der Pole nicht unterbrochen, vorausgesetzt, dass die Säule eine bedeutende Spannung hat und dass der Zwischenraum gewisse Grenzen nicht überschreitet, welche von der Natur der Polstücke abhängt. 105

Als H. Davy zugespitzte Kohlenstücke als Pole einer Säule von 2000 Plattenpaaren (Zink und Kupfer) anwandte, bildete sich bei dem eben angegebenen Verfahren zwischen den beiden Kohlenspitzen, welche selbst ein blendendes Licht ausstrahlten, ein nach oben gewölbter Flammenbogen, welcher erst erlosch, als die Polstücke 3 Zoll weit von einander entfernt worden waren.

Obgleich die von Davy angewandten Kohlen möglichst feste und dichte Holzkohlen waren, so waren sie bei diesem Versuche doch einem raschen Verbrennen ausgesetzt; um diese Verbrennung zu verhindern, schloss er sie in einen Glasballon ein, welcher luftleer gemacht werden konnte.

Mit grossem Vortheile lassen sich nun die zu dem Davy'schen Versuche verwendeten Holzkohlen durch zugespitzte Stäbchen ersetzen, welche aus der Bunsen'schen Kohlenmasse verfertigt sind. Wegen ihrer grösseren Dichtigkeit leitet diese Masse den Strom besser als Holzkohle und es genügt deshalb zur Anstellung des Versuches schon eine geringere Anzahl von Plattenpaaren; dann aber sind solche Bunsen'schen Kohlenstücke weit weniger der Verbrennung ausgesetzt, weshalb sie die Anwendung des luftleeren Raumes entbehrlich machen.

Zu Versuchen über den Flammenbogen kann man den schon auf S. 298 beschriebenen Polhalter, Fig. 286, benutzen, indem man die beiden zugespitzten Kohlenstücke in entsprechender Stellung in die Zangen *a*

und *b* einklemmt. Man kann dann dieselben leicht mit einander in Berührung bringen und nachher beliebig weit wieder von einander entfernen. Der Abstand, bis auf welchen man die Kohlenspitzen von einander entfernen kann, ohne dass der Strom unterbrochen wird und der Flammenbogen verlischt, darf um so grösser gemacht werden, je mehr die elektromotorische Kraft der Säule wächst und je weniger fest die Kohlenmasse der Polspitzen ist.

Bei Anwendung einer Säule von 6 bis 10 Bunsen'schen Bechern erscheint zwischen den Kohlenspitzen kaum ein glänzendes Sternchen; mit einer Säule von 30 bis 50 solcher Becher erhält man aber schon ein Licht, welches das Drummond'sche Kalklicht weit hinter sich zurücklässt.

Um den Strom zwischen den Kohlenspitzen einzuleiten, ist es nicht durchaus nothwendig, die Kohlenpole erst mit einander in Berührung zu bringen; es kann auch dadurch geschehen, dass man zwischen den beiden in gehörige Entfernung gebrachten Kohlenspitzen einen elektrischen Funken überschlagen lässt.

Das Licht an den Kohlenspitzen ist viel zu blendend, als dass man die Details der Erscheinung übersehen könnte; will man diese näher untersuchen, so ist es am zweckmässigsten, den Flammenbogen durch eine Linse von 2 bis 3 Centimeter Brennweite oder ein entsprechendes Linsensystem auf einen Schirm zu projiciren. Ganz vorzüglich eignet sich zu diesem Zwecke die in §. 107 näher zu besprechende Dubosq'sche Lampe.

Fig. 1 auf Tab. I. stellt den auf die angegebene Weise projicirten galvanischen Lichtbogen dar. Die Lichtstärke des Lichtbogens selbst ist nicht bedeutend, dagegen strahlen die Enden der beiden Kohlenspitzen, auf welchen der Lichtbogen gleichsam aufsitzt, ein blendendes Licht aus. Bei aufmerksamer Betrachtuug des Phänomens fällt aber sogleich ein auffallender Unterschied zwischen den beiden Polspitzen auf. Der negative Pol erscheint mehr zugespitzt, und an dieser Spitze ist die Lichtentwickelung am energischsten, während das Ende des positiven Pols mehr oder weniger ausgehöhlt erscheint. Während die negative Polspitze längere Zeit fast unverändert erscheint, nimmt die Masse des positiven Pols rasch ab und es ist dabei ein Ueberwandern materieller Theilchen vom positiven zum negativen Pole nicht zu verkennen.

Die Wärmeentwickelung ist übrigens an den beiden Polen sehr ungleich, sie ist viel bedeutender am positiven als am negativen Pole, wie man schon daraus ersieht, dass das Kohlenstück, welches den positiven Pol bildet, nach Unterbrechung des Stromes noch eine Zeit lang fortglüht, während das Kohlenstäbchen, welches den negativen Pol bildet, alsbald vollkommen dunkel erscheint. Wild sucht diese unipolare Wärmeentwickelung auf thermo-elektrische Effecte zurückzuführen. Wir werden darauf zurückkommen.

Wenn man bei diesem Versuche den einen der beiden Kohlenpole durch einen starken Eisendraht ersetzt, so wird derselbe unter lebhaftem

Funkensprühen verbrannt; ein Kupferdraht verbrennt mit grünlichem Lichte und ein Streifen Zinkblech mit bläulicher Flamme, wenn sie bei der Bildung des galvanischen Lichtbogens die Stelle des einen Kohlenpols vertreten.

Die unter diesen Umständen entwickelte Wärme genügt, um an einen dicken Platindraht sogleich eine Kugel anzuschmelzen.

Der galvanische Lichtbogen entsteht auch, wenn beide Pole durch Metall gebildet sind. Bei leicht schmelzbaren oder bei leicht oxydirbaren Metallen, wie Zink oder Eisen, ist er grösser als beim Platin oder Silber. Die Grösse des Lichtbogens steht in Beziehung zur grösseren oder geringeren Leichtigkeit, mit welcher die Substanz der Pole sich zu zertheilen fähig ist; denn da der Lichtbogen durch Ueberführung fein vertheilter Substanz von einem Pole zum anderen erzeugt und erhalten wird, so muss seine Bildung nothwendig durch eine geringere Cohäsion der Polstücke begünstigt werden; deshalb kann man auch zwischen Kohlenspitzen unter sonst gleichen Umständen den grössten Lichtbogen hervorbringen.

Der Flammenbogen zeigt in seiner Lage und Gestalt eine grosse Veränderlichkeit, indem die blendenden Ausgangspunkte desselben fortwährend ihre Stelle ändern.

Nach den Versuchen von van Breda findet eine Ueberführung materieller Theilchen, wenn auch vorherrschend, doch nicht ausschliesslich vom positiven zum negativen Pole statt. Er experimentirte im leeren Raume und leitete den Uebergang des Stromes zwischen den beiden Polen durch eine starke elektrische Entladung ein. Als zwei Eisenkugeln als Pole gedient hatten, fand sich, dass das Gewicht der positiven um 309 Milligramme abgenommen hatte, während das Gewicht der negativen nicht etwa grösser, sondern um 55 Milligramme kleiner geworden war. Als zwischen zwei kupferne, als Pole dienende Kugeln eine isolirte Eisenplatte gehalten worden war, hatte die positive Kugel um 63, die negative um 360 Gramme an Gewicht zugenommen. Beide hatten sich mit Eisentheilchen bedeckt, welche von der Platte kamen.

Photometrische Vergleichung des elektrischen Kohlenlichtes. Ueber die Lichtstärke des galvanischen Flammenbogens hat Casselmann Versuche angestellt. (Pogg. Annal. Bd. LXIII, S. 576.) Er wandte zu denselben ein Bunsen'sches Photometer an, wie wir es im ersten Bande dieses Lehrbuches kennen gelernt haben. Die Kohlenstücke, zwischen denen der Lichtbogen erzeugt wurde, waren aus derselben Masse gebildet, welche zur Herstellung der Kohlencylinder der Bunsen'schen Kette dient; jedoch waren sie noch auf verschiedene Weise präparirt worden, indem sie mit Lösungen von salpetersaurem Strontian, Borsäure u. s. w. getränkt und nochmals stark geglüht wurden. Die so präparirten Kohlenstücke geben einen, je nach der angewandten Substanz verschieden gefärbten, sehr ruhigen Lichtbogen, der (bei einer Säule von 44 Bunsen'schen Bechern) erst erlischt, wenn die Kohlenspitzen 7 bis 8 106

Millimeter von einander entfernt werden, während der unruhige Lichtbogen der rohen Kohle schon bei 5^{mm} Entfernung erlischt.

In dem Strom war gleichzeitig eine Tangentenbussole eingeschaltet, so dass die jeder gemessenen Lichtstärke entsprechende Stromstärke bestimmt werden konnte.

Die folgende Tabelle giebt die in jedem Falle entsprechende Lichtstärke der beiden hellen Punkte, sammt dem Bogen verglichen mit der Lichtstärke einer Stearinkerze, und zwar für jede Kohlenart einmal bei ganz kleiner, dann bei möglichst grosser Entfernung der Kohlenspitzen. — Die Werthe der Stromstärke sind bereits auf chemische Einheit reducirt.

	Entfernung der Kohlenspitzen	Stromstärke	Lichtstärke
Rohe Kohle	0,5^{mm}	95	932
	4,5	68	139
Kohle mit salpetersaurem Strontian	0,5	120	353
	6,75	88	274
Kohle mit Aetzkali . . .	2,5	101	150
	8	82	75
Kohle mit Zinkchlorid .	1,0	80	624
	5,0	67	159
Kohle mit Borax und Schwefelsäure . . .	1,5	72	1171
	5,0	64	165

Die Tabelle zeigt uns, dass mit der Entfernung der Spitzen die Lichtstärke und die Stromstärke abnimmt. Durch die meisten der Substanzen, mit welchen die Kohle behandelt wurde, ist der Lichtbogen zwar ruhiger, und eine grössere Entfernung der Kohlenspitzen möglich, aber keine grössere Lichtstärke erzielt worden; dies ist nur der Fall bei der Kohle, die in eine Mischung von Borax mit Schwefelsäure getaucht war.

Auch bei unveränderter Entfernung der Spitzen nimmt die Lichtstärke zu, wenn die Stromstärke wächst.

Nach den Versuchen von Fizeau und Foucault ist die photographische Wirksamkeit des durch 46 Bunsen'sche Zinkkohlenbecher erzeugten Kohlenlichtes 34mal so gross als die des Drummond'schen Kalklichtes.

Die ausgezeichneten chemischen Wirkungen des elektrischen Lichtes rühren daher, dass es sehr reich an blauen, violetten und ultravioletten Strahlen ist, was auch daraus hervorgeht, dass die eigenthümlichen Far-

benerscheinungen fluorescirender Körper bei einer Beleuchtung durch das galvanische Kohlenlicht sehr schön hervortreten.

Praktische Anwendung des elektrischen Lichtes. Die grosse Intensität des galvanischen Kohlenlichtes musste bald zu der Idee führen, dasselbe zur Beleuchtung zu verwenden. Da nun aber selbst die Bunsen'sche Kohlenmasse nicht fest genug ist, um auf längere Zeit eine hinlängliche gleichförmige Lichtentwickelung zu gestatten, so substituirte Foucault statt ihrer eine Kohlenmasse, welche sich in den zur Entwickelung des Leuchtgases dienenden Retorten absetzt und welche so fest ist, dass sie sich kaum mit der Säge bearbeiten lässt. Aus solcher Gaskohle hergestellte Stäbchen geben, als Polspitzen einer kräftigen galvanischen Säule angewandt, ein sehr intensives gleichförmiges Licht, während sie ihrer grossen Festigkeit wegen nur eine unbedeutende Entwickelung des Lichtbogens gestatten, auf welchen es aber auch bei Beleuchtungszwecken gar nicht ankommt. 107

So langsam auch die Consumtion der aus Gaskohle hergestellten Spitzen sein mag, so ist doch die Abnutzung namentlich der positiven Polspitze stark genug, um alsbald eine Unterbrechung des Stromes zu bewirken, wenn die beiden Pole fest einander gegenüber gestellt wären; wo es sich also um eine praktische Anwendung des elektrischen Kohlenlichtes handelt, muss durch eine geeignete Vorrichtung dafür gesorgt sein, dass die beiden Polspitzen stets in dem gehörigen Abstande von einander erhalten werden, dass also der positive Pol in gleichem Maasse gegen den negativen Pol vorgeschoben wird, in welchem er sich unter dem Einflusse des Stromes verkürzt.

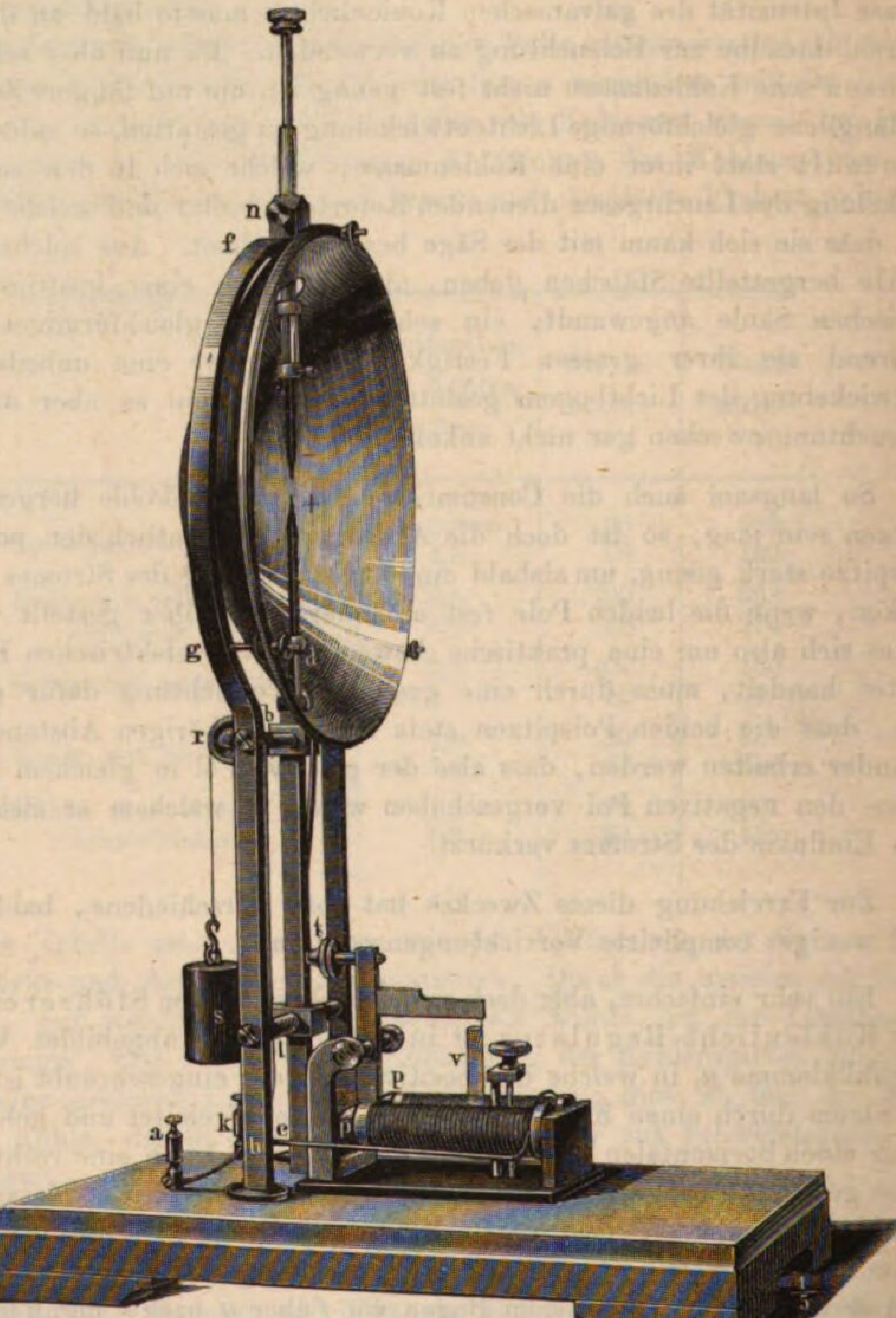
Zur Erreichung dieses Zweckes hat man verschiedene, bald mehr bald weniger complicirte Vorrichtungen construirt.

Ein sehr einfacher, aber doch sicher wirkender, von Stöhrer construirter Kohlenlicht-Regulator ist in Fig. 288 (a. f. S.) abgebildet. Von der Schraubklemme a, in welche der positive Poldraht eingeschraubt ist, wird der Strom durch einen Kupferdraht nach b hinaufgeleitet und geht dann durch einen horizontalen Messingstab, dessen Mitte durch eine rechteckige Hülse gebildet wird, auf den in dieser Hülse verschiebbaren Messingstab cd über, welcher die positive Kohlenspitze trägt. — Nachdem nun der Strom von der positiven zur negativen Kohlenspitze übergegangen ist, wird er durch einen metallenen Bogen von f über g nach h herab geleitet, von wo aus er durch einen Kupferdraht in die Umwindungen eines Elektromagnets geht, aus denen er endlich zur Schraubklemme k gelangt, in welche der negative Poldraht der Säule eingeschraubt ist.

Die beiden Kohlenspitzen befinden sich in dem Brennpunkte eines neusilbernen, parabolisch gekrümmten Hohlspiegels, welcher mittelst dreier Schrauben von einem metallenen Ringe getragen wird. Dieser nach unten

offene Ring läuft in zwei verticale Metallstäbe aus, mittelst deren er auf einem starken Brette befestigt ist, Fig. 288 und Fig. 289.

Fig. 288.



Zwischen diesen beiden verticalen Metallstäben sind nun zwei Messingstäbchen, nämlich einer bei *b* und einer bei *l*, in horizontaler Richtung so befestigt, dass sie durch Holzscheibchen von den verticalen Stäben getrennt sind, also keine metallische Verbindung zwischen diesen

horizontalen Stäbchen und den verticalen Trägern des Ringes besteht, wie man aus Fig. 289 deutlicher ersieht, welche den entsprechenden Theil

Fig. 289.

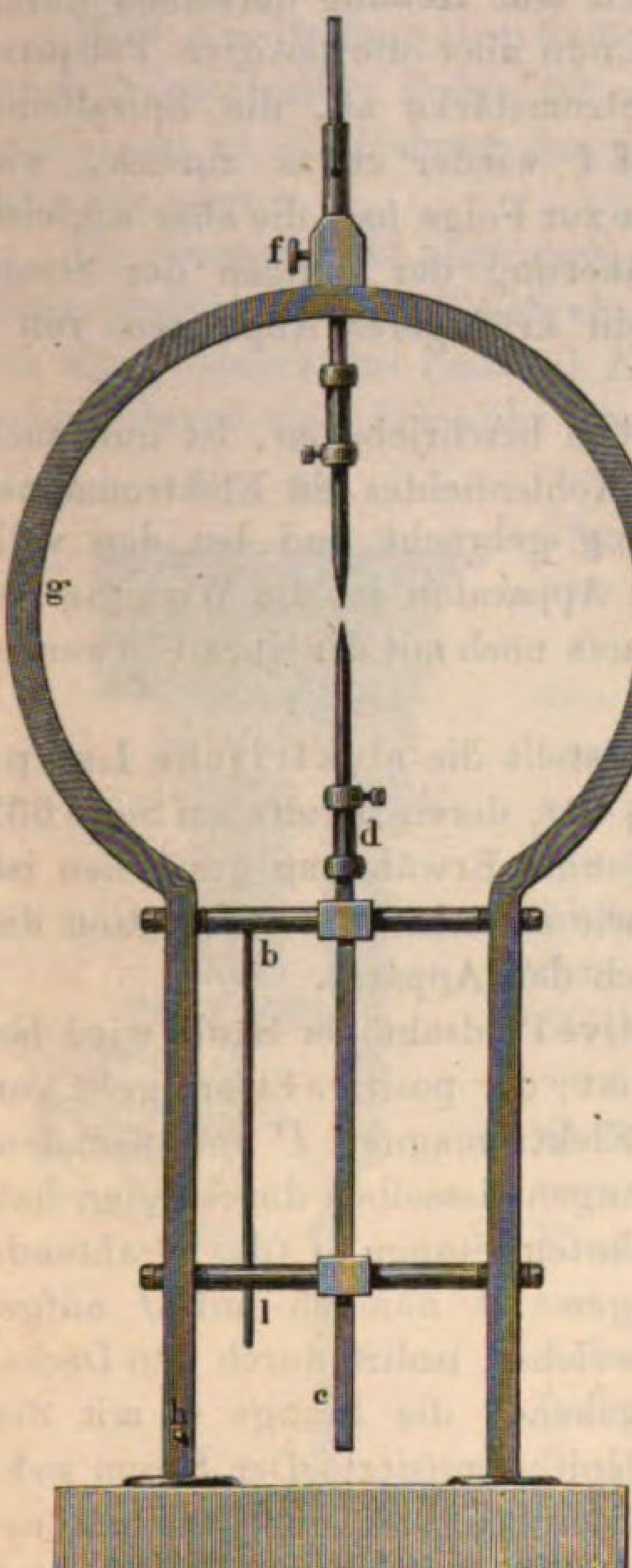
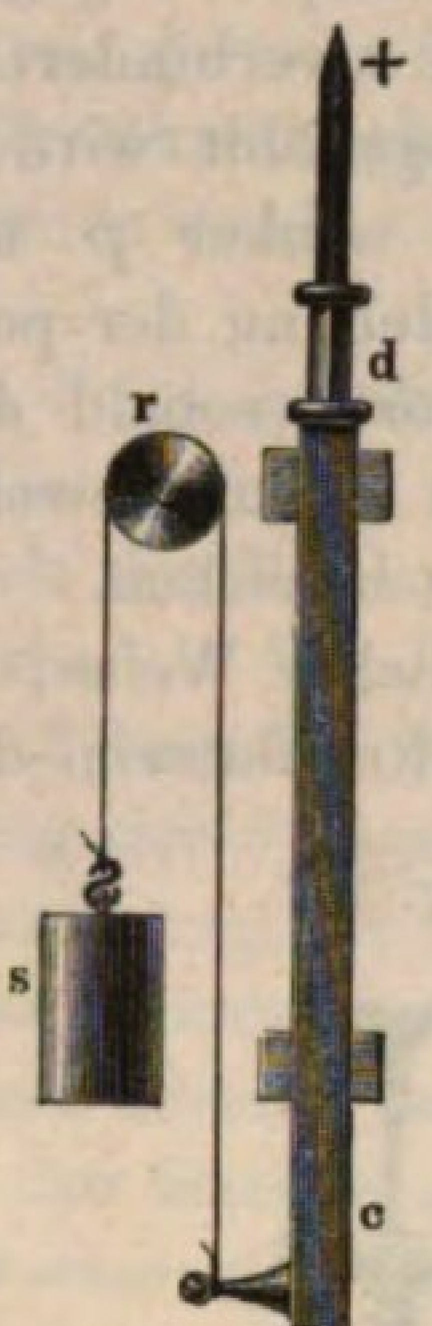


Fig. 290.



geometrisch und mit Hinweglassung des Hohlspiegels darstellt.

In der Mitte eines jeden der beiden horizontalen Stäbchen befindet sich eine rechteckige Hülse, in welcher der rechteckige Stab *cd* auf und ab geschoben werden kann, welcher oben das untere Kohlenstäbchen trägt.

Das obere Kohlenstäbchen ist an einem Messingstabe befestigt, der in einer auf dem Gipfel des vorher erwähnten metallenen Ringes befestigten Hülse verschiebbar, mittelst einer Stellschraube *f* in der gehörigen Stellung festgestellt werden kann.

Am unteren Ende des vierseitigen Stabes *cd*, welcher das positive Stäbchen trägt, ist, wie man in Figur 288 oder besser noch in Figur 290 sieht, ein horizontales Messingstäbchen befestigt, von welchem eine über die Rolle *r* geschlungene, das Gewicht *s* tragende Schnur in die Höhe geht; durch dieses Gewicht wird nun der Stab *cd* in die Höhe gezogen, also die untere Kohlenspitze der oberen festgeschraubten genähert.

Hat man nun mit der Hand durch Verschiebung des Stabes *cd* die beiden Kohlenspitzen in Berührung gebracht und dann sie wieder so weit entfernt, dass sich das elektrische Licht möglichst brillant entwickelt, so wird der Strom auch den erwähnten Elektromagneten umkreisen, welcher

20*

nun den Anker *pp*, Fig. 288, anzieht und dadurch den Knopf *t* gegen die Stange *cd* anpresst. An der gegen die Stange *cd* gewendeten Seite ist der Knopf *t* mit einer Korkplatte versehen, so dass durch das Anpressen des Knopfes *t* gegen die Stange *cd* eine Hebung derselben durch das Gewicht *s* verhindert wird. Sobald nun aber die positive Polspitze zu weit ausgehöhlt wird, nimmt die Stromstärke ab, die Spiralfeder *v* zieht den Anker *p* und den Knopf *t* wieder etwas zurück, was eine kleine Hebung der positiven Polspitze zur Folge hat, die aber sogleich wieder aufhört, sobald durch die Annäherung der Spitzen der Strom wieder stark genug geworden ist, um ein kräftigeres Anpressen von *t* gegen *cd* zu bewirken.

In ähnlicher Weise, wie bei dem eben beschriebenen, ist nun auch bei anderen Regulatoren des elektrischen Kohlenlichtes ein Elektromagnet in Anwendung gebracht und bei den vollkommeneren Apparaten ist die Wirkung des Elektromagnets noch mit der eines Uhrwerkes combinirt.

Fig. 291.

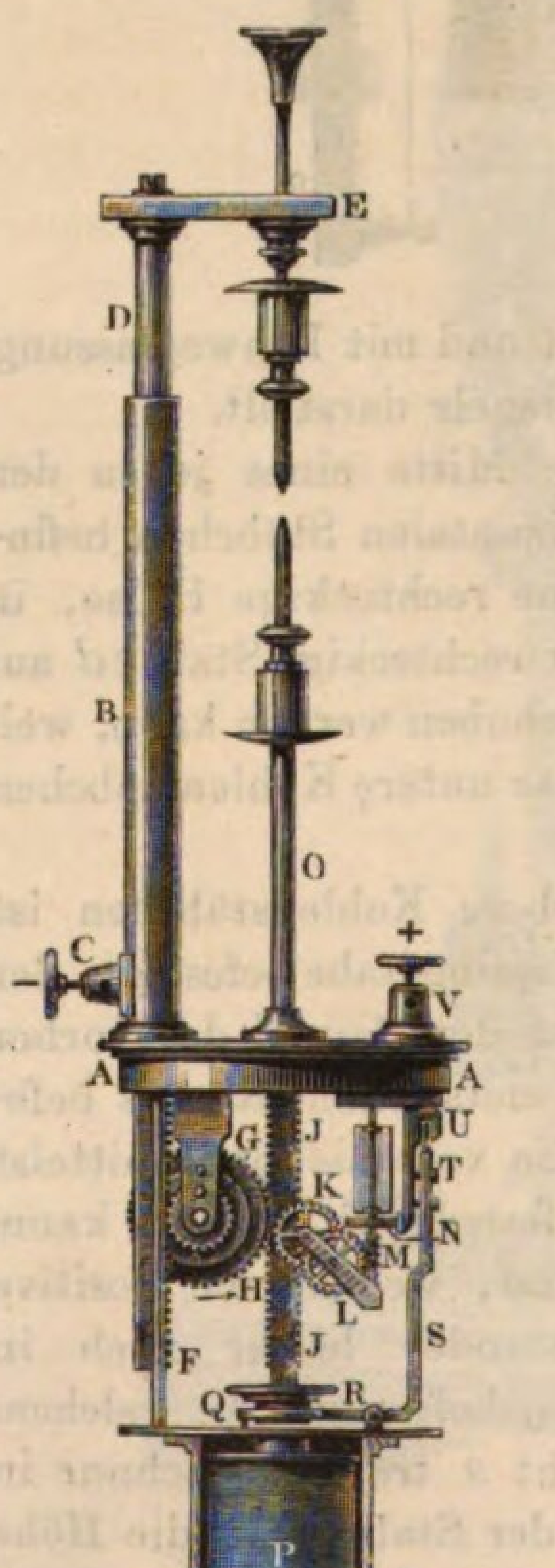


Fig. 291 stellt die elektrische Lampe von Dubosq dar, deren bereits auf Seite 637 des ersten Bandes Erwähnung geschehen ist. Betrachten wir zunächst die Circulation des Stromes durch den Apparat.

Der positive Poldraht der Säule wird bei *V* eingeklemmt; der positive Strom geht von da zu dem Elektromagnet *P* und nachdem er die Windungen desselben durchlaufen hat, zu der gezahnten Stange *J* (das Drahtende der Windungen ist nämlich auf *J* aufgelöthet), auf welcher, isolirt durch den Deckel *A* hindurchgehend, die Stange *O* mit der positiven Polspitze aufsitzt. Der Strom geht alsdann von der positiven Polspitze zur negativen über, welche mit dem Messingstab *D* in leitender Verbindung steht. Der Stab *D* steckt aber in dem Metallrohre *B*, auf welchem bei *C* der negative Poldraht der Säule eingeklemmt wird.

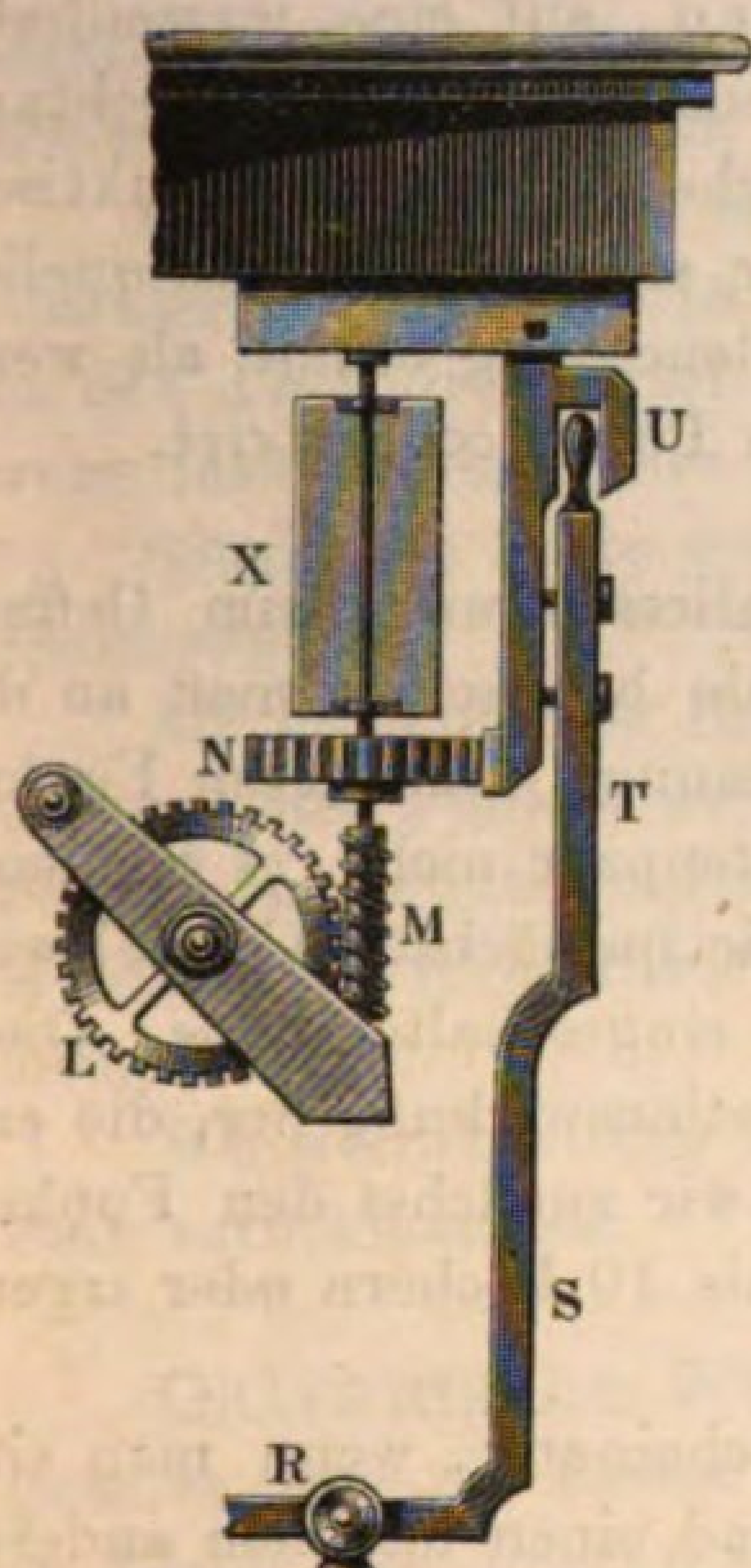
Die Bewegung der Kohlenspitzen gegen einander wird hier durch eine in einer Hülse eingeschlossene Uhrfeder bewirkt, welche die gezahnten Räder *G* und *H* in der Richtung des kleinen Pfeils zu drehen strebt. Das Rad *G* greift in die gezahnte Stange *F* ein, welche das untere Ende des Stabes *D* bildet; durch die Drehung des Rades *G* wird also

die obere Kohlenspitze abwärts bewegt. — Das Rad *H* greift in die gezahnte Stange *J* ein, und durch die Umdrehung von *H* wird die untere Kohlenspitze gehoben.

Weil der Umfang des Rades *H* grösser ist als der von *G* und beide durch die gespannte Feder mit gleicher Winkelgeschwindigkeit gedreht werden, so ist die Hebung der unteren Kohlenspitze rascher als die Senkung der oberen.

Die Stange *J* ist aber auch auf der anderen Seite gezahnt und ihre Zähne greifen in einen Trieb ein, welcher mit dem Zahnrad *K* auf einer Axe sitzt. Durch das Zahnrad *K* wird der Trieb des Rades *L* gedreht, welches durch eine Schraube ohne Ende (deutlicher in Fig. 292) *M* die verticale Axe des Zahnrades *N* umdreht. Die langsame Hebung der Stange *J* bewirkt also eine rasche Umdrehung des Rades *N*.

Fig. 292.



Dieses Rad *N* kann nun zunächst durch einen Stift von Aussen arretirt und dadurch auch die Bewegung der Stangen *J* und *F* gehemmt werden. Ist aber das Rad *N* nicht von Aussen arretirt, so erfolgt seine Arretirung durch den Elektromagnet *P*, sobald der ihn durchlaufende Strom die nöthige Stärke hat. Durch den Elektromagneten wird nämlich der ringförmige eiserne Anker *Q* angezogen, welcher an einem um *R* drehbaren Winkelhebel befestigt ist. Durch das Niederziehen des Ankers *Q* wird aber eine mit dem oberen Hebelende in Verbindung stehende Schneide zwischen die Zähne des Rades *N* eingeschoben und dadurch die Drehung der Räder und die Bewegung der Kohlenspitzen gehindert.

So lange also die Kohlenspitzen hinlänglich nahe sind, um bei starkem Strom ein intensives Licht zu liefern, bleiben sie fest stehen. Sobald aber die Stromstärke etwas abnimmt, wird der Anker *Q* zurückgezogen, das Rad *N* wird frei und die Kohlenspitzen nähern sich bis der Strom wieder die nöthige Intensität erlangt hat.

Wie wir bereits in Fig. 703 des ersten Bandes gesehen haben, sind die Kohlenspitzen, zwischen denen das blendend helle elektrische Licht auftritt, mit einem Gehäuse umgeben, an dessen Vorderseite sich ein kurzes cylindrisches Rohr zur Aufnahme verschiedener Linsensysteme befindet.

Dieser Apparat kann nun für eine grosse Reihe physikalischer Versuche das Sonnenlicht ersetzen, so namentlich für Versuche über Fluorescenz und Phosphorescenz; man kann ihn auch benutzen, um die Lyssajous'schen Stimmgabelcurven objectiv zu machen.

Die Dubosq'sche Lampe ist die Lichtquelle für das photoelektrische Mikroskop, welches ganz ähnlich construirt ist, wie das Sonnenmikroskop, dem es in seinen Leistungen sehr nahe steht, während es das Hydrooxygengas - Mikroskop (bei welchem das Drummond'sche Kalklicht als Lichtquelle dient, I, S. 707) weit übertrifft.

Dubosq benutzt seine Lampe ferner mit dem besten Erfolg, um fast sämmtliche Erscheinungen der Beugung, der Polarisation, der doppelten Brechung u. s. w. objectiv darzustellen.

Obgleich man nun bei Anwendung der harten Gaskohle mit Hülfe zweckmässiger Regulirungsapparate das elektrische Licht stundenlang in gleichförmiger Helligkeit erhalten kann, so wird die Anwendung desselben im praktischen Leben doch nur auf besondere Fälle beschränkt bleiben, bei welchen es, wie z. B. auf Leuchtthürmen, auf eine massenhafte Lichtentwickelung ankommt. Zur Strassenbeleuchtung, zur Beleuchtung von Sälen, Theatern u. s. w. ist das elektrische Licht nicht praktisch, weil man bei zweckmässiger Vertheilung vieler schwächerer Lichtquellen eine weit angenehmere und gleichförmigere Erleuchtung erhält, als wenn man die gleiche Lichtmenge auf einen einzigen Punkt concentrirt.

108 **Der galvanische Funke.** Beim Schliessen und beim Oeffnen des Schliessungsbogens einer galvanischen Säule beobachtet man an der Unterbrechungsstelle eine funkenartige Erscheinung. Um diesen Funken recht schön zu sehen, genügt ein einziges Plattenpaar nicht, es sei denn, dass man eine Magnetisirungsspirale, wie wir sie im nächsten Capitel werden kennen lernen, in den Schliessungsbogen eingeschaltet habe. Diese Verstärkung des Funkens rührt von einer Inductionswirkung her, die erst später besprochen werden kann. Betrachten wir zunächst den Funken, wie ihn etwa eine Bunsen'sche Säule von 6 bis 10 Bechern oder irgend eine andere dieser äquivalente Säule giebt.

Sehr schön beobachtet man die Funkenerscheinung, wenn man eine Feile an dem einen Pole der Säule befestigt und einen mit dem anderen Pole verbundenen Eisendraht darüber hinführt. Bei dem hierbei rasch auf einander folgenden Oeffnen und Wiederschliessen der Kette entsteht ein lebhaftes Funkensprühen, welches offenbar von einer Verbrennung der Eisentheilchen herrührt, die glühend auseinanderfahren.

Anders erscheint der galvanische Funke, wenn das Schliessen und Oeffnen der Kette durch Eintauchen und Herausziehen des einen Poldrahtes in und aus Quecksilber geschieht, welches mit dem anderen Pole in leitender Verbindung steht. Hier ist kein Umhersprühen zu beobachten. Man sieht, wenn man den einen Poldraht in das Quecksilber eintaucht, namentlich aber wenn man ihn herausnimmt, einen ganz abgerundeten, lebhaft weiss glänzenden Funken, der von einem klatschartigen Geräusch begleitet ist. Auch in dieser Form ist höchst wahrscheinlich die Lichterscheinung von einer secundären Verbrennung, und zwar hier von einer Verbrennung des Quecksilbers begleitet.

Ein Ueberspringen von Funken in Distanz, wie wir es bei der Reibungselektricität kennen gelernt haben, findet bei den gewöhnlichen galvanischen Säulen nicht statt. Jacobi hat sich durch genaue Messungen überzeugt, dass die Pole einer Säule von 12 Grove'schen Plattenpaaren bis auf 0,00005 Zoll genähert werden konnten, ohne dass ein Funke übersprang. Ein solches Ueberspringen erhält man erst, wenn man die Zahl der Plattenpaare weit über das gewöhnliche vermehrt. Gassiot hat eine Säule construirt, welche aus 3520 Bechern bestand, deren jeder einen Zinkstab und einen Kupfercylinder enthielt. Zur Ladung diente Regenwasser. Die 3520 Glasbecher waren auf 44 eichene Bretter vertheilt, von denen immer 11 ein Gestell, einem Becherrepositorium ähnlich und von vier starken Ständern getragen, bildeten. Besondere Sorgfalt war auf die Isolirung verwendet worden; die Becher waren gefirnisst und standen auf Glasplatten, die ebenso wie die Bretter mit einem Firnissüberzug versehen waren.

Es liess sich wohl erwarten, dass diese Batterie im ungeschlossenen Zustande bedeutende Spannungserscheinungen hervorbringen musste; und in der That divergirten die Pendel eines Goldblattelektroskops schon, wenn man es dem einen Pole auf 2 bis 3 Zoll näherte.

Sobald die Kette geschlossen wurde, verschwanden alle Zeichen von Spannung.

Als die Pole der Batterie auf 0,02 Zoll genähert wurden, schlugen unausgesetzt Funken zwischen ihnen über. In einem Falle dauerte dies Phänomen ununterbrochen Tag und Nacht fünf Wochen lang. Mehrere Monate nach ihrer Errichtung zeigte die Batterie noch keine Abnahme ihrer Kraft.

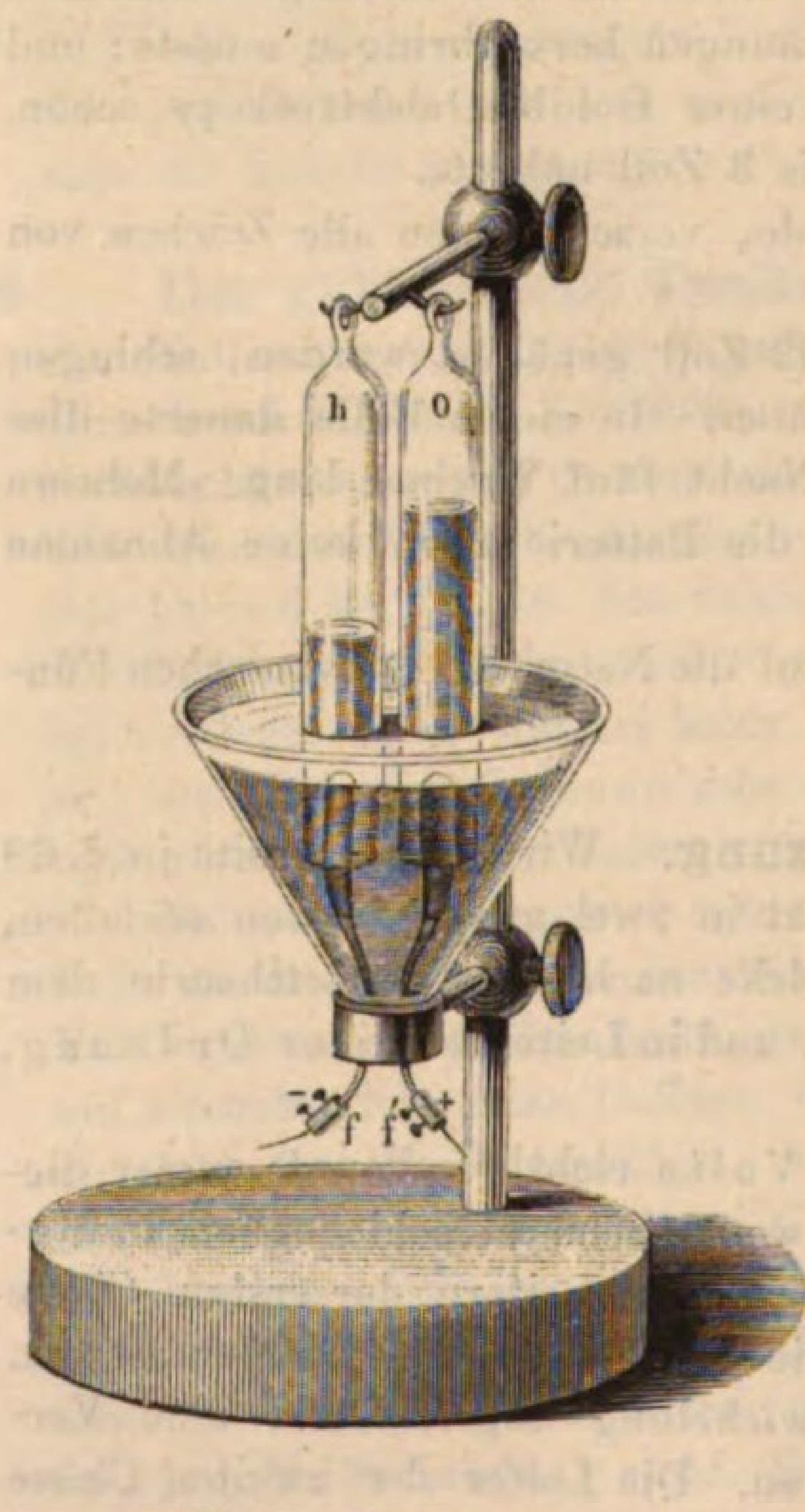
Wir werden später noch einmal auf die Natur des galvanischen Funkens zurückkommen.

Galvanische Wasserzersetzung. Wir haben bereits in §. 68 109
gesehen, dass die Leiter der Elektricität in zwei grosse Classen zerfallen, in Leiter der ersten Ordnung, welche nach der Contacttheorie dem Gesetze der Spannungsreihe gehorchen, und in Leiter zweiter Ordnung, für welche dies nicht der Fall ist.

Diesen Unterschied hatte bereits Volta richtig erkannt; ausser diesem zeigen sie aber noch eine andere wesentliche Verschiedenheit in Beziehung auf die Stromleitung. Zu den Leitern der ersten Classe gehören vorzugsweise die Metalle; sie leiten den elektrischen Strom, ohne, eine entsprechende Wärmeentwickelung abgerechnet, eine Veränderung in ihrer Substanz zu erfahren. Die Leiter der zweiten Classe hingegen, in welche nur chemisch zusammengesetzte Flüssigkeiten gehören, können den elektrischen Strom nur in Folge einer chemischen Zersetzung leiten, oder mit anderen Worten, die chemische Zersetzung vermittelt die Stromleitung in den zu den Leitern zweiter Classe gehörigen Flüssigkeiten.

Die erste galvanische Zersetzung, welche beobachtet wurde, war die des **Wassers**. Im Jahre 1800 bemerkten zwei englische Physiker, **Carlisle** und **Nicholson**, während sie mit einer **Volta'schen Säule** experimentirten, den eigenthümlichen Geruch von Wasserstoffgas, und **Nicholson** kam, dadurch veranlasst, auf den glücklichen Gedanken, den Strom durch eine Röhre mit Wasser gehen zu lassen, indem er die beiden Poldrähte in dasselbe eintauchte und in einer kleinen Entfernung von einander hielt. Bald stieg das Wasserstoffgas in kleinen Bläschen am negativen Pole auf, während der positive, aus Zink bestehende Poldraht sich oxydirte. Wird für den positiven Poldraht Platin oder Silber genommen, so oxydirt er sich nicht, sondern das Sauerstoffgas steigt ebenfalls in Bläschen in die Höhe. — So war denn endlich das Wasser direct in seine Elemente zerlegt. **Cavendish** hatte zwar schon gezeigt, dass Sauerstoff und Wasserstoff sich zu Wasser verbinden, aller Anstrengung ungeachtet war aber die directe Zersetzung des Wassers noch nicht gelungen. Ein passender Apparat zur Wasserzersetzung ist Fig. 293 dargestellt. Er besteht aus einem mit **gesäuertem** Wasser gefüllten Glase, durch dessen isolirenden Boden zwei Kupferdrähte hindurchgehen, welche sich jedoch nicht berühren dürfen. An diese Drähte sind Platinplatten angelöthet, die Löthstelle aber und der Kupferdraht, so weit er sich im Gefäss befindet, ist sorgfältig mit Siegellacklösung überzogen. Zwei Glasglöckchen *o* und *h* sind mit gesäuertem Wasser gefüllt und hängen in das Gefäss herab, so dass sich über jeder der beiden Polplatten ein solches Glöckchen befindet. Sobald man nun die Drähte *f* und *f'* mit den Polen der Säule in Verbindung bringt, entwickeln sich Gasblasen in reichlichem Maasse. Reines Sauerstoffgas steigt immer in dem Glöckchen über dem positiven Pole auf, das Wasserstoffgas im anderen. **Das Volumen des an der negativen Polplatte aufsteigenden Wasserstoffgases ist doppelt so gross, als das Volumen des am positiven Pol frei werdenden Sauerstoffgases.**

Fig. 293.



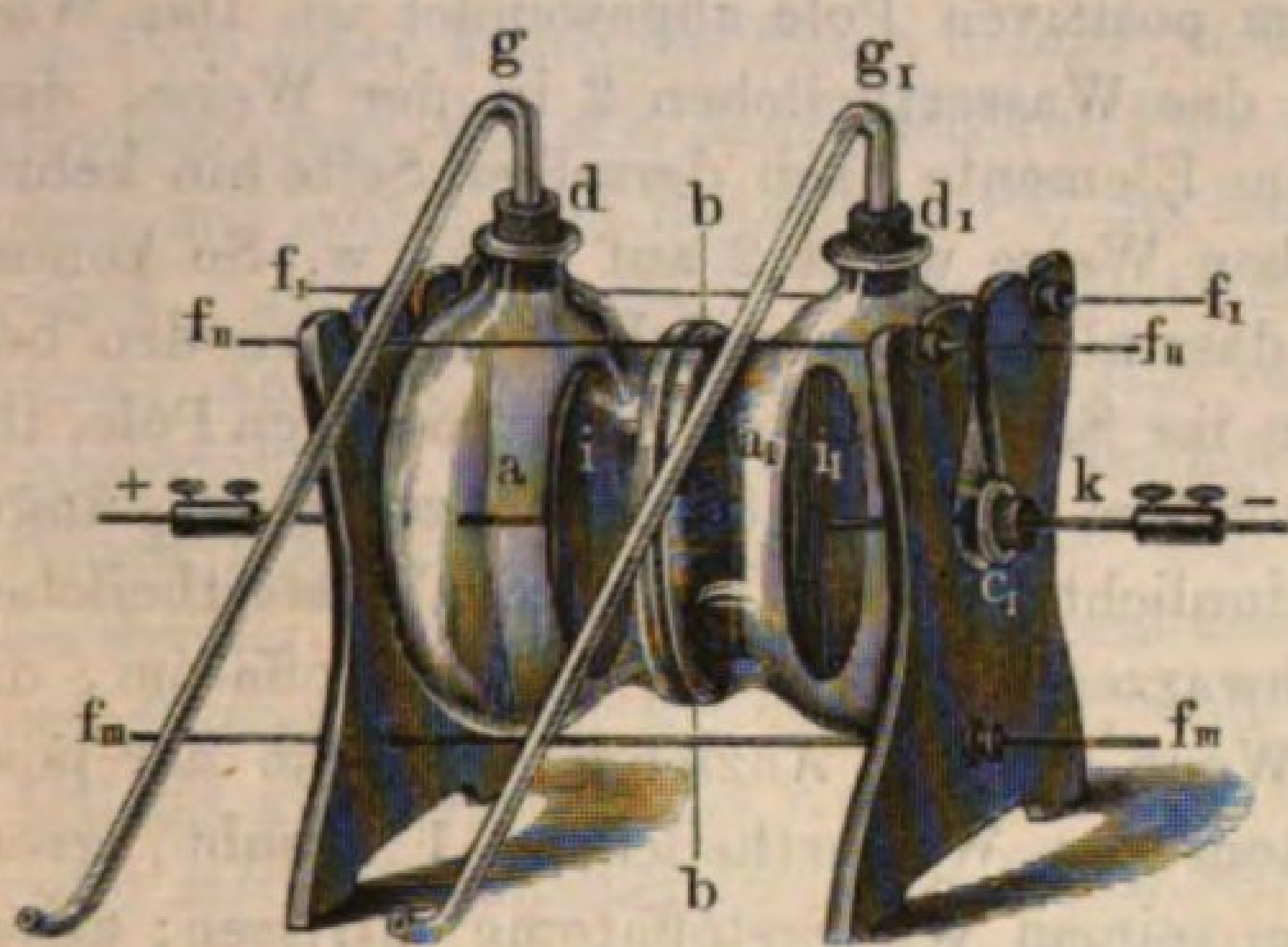
Die Gasentwickelung ist um so lebhafter, je näher die Polplatten einander sind und je grösser die Oberfläche des Metalls ist, welche mit

dem Wasser in Berührung steht. Man wendet deshalb anstatt der ursprünglich gebräuchlichen Poldrähte Platinplättchen an.

Die **Voltameter** zum Auffangen der gemischten Gase haben wir bereits oben Seite 225 kennen gelernt.

Um grössere Quantitäten von Wasserstoff und Sauerstoff auf galvanischem Wege zu erhalten, kann man sich des Apparates Fig. 294 bedienen. Bei *b b* ist zwischen die beiden grösseren mit dickerem abgeschliffenem Rande umgebenen Oeffnungen der Glasgefässe *a* und a_1 eine Wand von porösem Thon eingekittet; ausserdem werden aber die beiden Gefässe noch zwischen zwei Brettchen durch Schrauben festgehalten. Jedes dieser Gefässe, welche mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt werden, hat oben einen Tubulus zur Aufnahme der Gasleitungsröhren, während die Zuleitungsdrähte für die Platinplatten *i* und i_1 durch zwei diametral gegenüberstehende Tubuli *c* (in der Figur nicht sichtbar) und c_1 eingeführt werden.

Fig. 294.



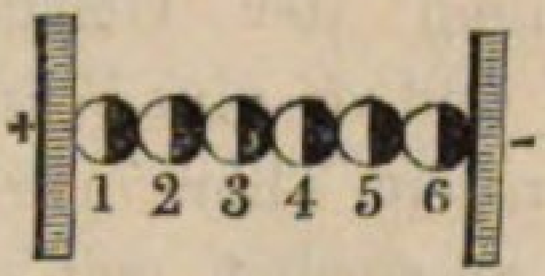
Das destillirte und vollkommen reine Wasser wird auf diese Weise kaum merklich zersetzt; sobald man aber nur einige Tropfen Schwefelsäure zugiesst, wodurch sein Leitungsvermögen bedeutend erhöht wird, beginnt eine sehr lebhafte Gasbildung.

Als ich in den Schliessungsbogen einer Säule von 35 Zinkkohlenbechern eine Tangentenbussole einschaltete, erhielt ich eine Ablenkung von 55°, welche auf weniger als $^1/_4{}^0$ herabsank, als noch ein mit **reinem Wasser** gefüllter Zersetzungsapparat in die Kette eingeschaltet wurde. Die Platinplatten desselben überzogen sich mit zahllosen mikroskopischen Bläschen, so dass sie vollkommen weiss erschienen. Spärlich stiegen einzelne Bläschen auf, welche jedoch nur als weisse Pünktchen in der Flüssigkeit beobachtet wurden. Aus den verschiedenen Daten dieses Versuches (elektromotorische Kraft eines Bechers 800, Reductionsfactor der Tangentenbussole 70) ergab sich, dass, wenn überhaupt hier noch von Stromleitung die Rede sein kann, der **Leitungswiderstand des reinen Wassers mindestens 500mal grösser ist als der einer gesättigten Lösung von Kupfervitriol; Pouillet** fand ihn 400mal grösser.

Grothuss hat von der galvanischen Wasserzersetzung folgende Erklärung gegeben, welche jetzt von fast allen Physikern als die richtige angenommen wird. Wenn Wasserstoffgas und Sauerstoff zu Wasser verbunden sind, so werden bei dieser innigen Berührung der kleinsten Theil-

chen die Sauerstoffatome negativ, die Wasserstoffatome positiv elektrisch; wegen der gleichförmigen Vertheilung der Theilchen beider Substanzen aber zeigt natürlich die Verbindung keine freie Elektricität. Wenn sich nun Wasser zwischen den beiden Polen einer galvanischen Kette befindet, so wird der positive Pol auf die zunächstliegenden Wassertheilchen in der Weise wirken, dass der negative Bestandtheil angezogen und dem positiven Pole zugekehrt wird, während das abgestossene Wasserstoffatom des ersten Wassermoleküls von dem positiven Pole abgewendet ist. Das Wassertheilchen 1 wirkt aber auf das Wassertheilchen 2 in der Weise, dass dieses seine Elemente nach derselben Seite hin kehrt; in derselben Weise wirkt 2 auf 3 u. s. w. So kommt es denn, dass alle Wassermoleküle zwischen den beiden Polen ihr Sauerstoffatom dem positiven Pole, ihr Wasserstoffatom dem negativen Pole zukehren, ungefähr so, wie es Fig. 295 versinnlicht, wo die Kreischen Wassertheilchen darstellen, und zwar die schwarzen Hälften das Wasserstoffatom, die weissen das Sauerstoffatom. Wenn nun die Anziehung, welche der positive Pol auf das Sauerstoffatom des Wassertheilchens 1 ausübt, gross genug ist, so wird es gleichsam seinem Wasserstoffatome entrissen; dieses Wasserstoffatom verbindet sich wieder mit dem Sauerstoffe des Wassertheilchens 2; der Wasserstoff von 2 verbindet sich mit dem Sauerstoff von 3 u. s. w. Auf diese Weise geht auf der ganzen Strecke zwischen beiden Polen eine beständige Zersetzung und Wiederbildung von Wasser vor sich, nur an den Polen selbst können die Bestandtheile desselben frei werden.

Fig. 295.



Die Beweglichkeit der Wassertheilchen, wie sie im flüssigen Zustande stattfindet, ist wesentlich, wenn das Wasser den Strom leiten und durch denselben zersetzt werden soll. Eis wird nicht zerlegt und leitet den Strom nicht.

Gerade so wie zwischen den Polen findet auch in allen Zellen der galvanischen Säule eine Wasserzersetzung statt.

110 Zersetzung der Alkalien durch den galvanischen Strom.

Eine neue Epoche der Wissenschaft beginnt mit der im Jahre 1807 von Davy mit Hülfe der Säule gemachten Entdeckung der Zerlegbarkeit der Alkalien. Davy fand nämlich, dass die Alkalien und Erden, welche man für einfache Körper gehalten hatte, unter der Einwirkung des galvanischen Stromes in Sauerstoff und ein bis dahin unbekanntes Metall zerfallen. Das Metall des Kalis nannte er Kalium, das des Natrons wurde Natrium genannt. Das Aetzkali ist also Kaliumoxyd, das Aetznatron ist Natriumoxyd.

Kaum waren die ersten unvollständigen Nachrichten über diese Entdeckung verbreitet worden, als man an mehreren Orten den Versuch mit Erfolg wiederholte. Das Wichtigste über diese Versuche findet man im 28. Bande von Gilbert's Annalen. Ermann und Simon in Berlin,

Jacquin in Wien publicirten alsbald Näheres über die Art und Weise, wie ihnen die galvanische Zerlegung des Kalis und des Natrons geglückt war, und den Bemühungen von Gay-Lussac und Thénard gelang auch alsbald die Zerlegung dieser Körper ohne Anwendung des galvanischen Stromes auf rein chemischem Wege.

Folgendes ist das Wesentliche des Versuchs: wenn man ein Stückchen Aetzkali, eben so feucht, wie es durch Anhauchen wird, zwischen die Pole einer kräftigen Säule bringt, indem man es etwa auf eine Platinplatte legt, die mit dem positiven Pole der Säule verbunden ist und es oben mit einem, den negativen Pol der Säule bildenden Platindrahte berührt, so findet nach kurzer Zeit eine oberflächliche Schmelzung statt; an der positiven Platinplatte entwickeln sich Bläschen von Sauerstoffgas, an dem negativen Platindraht aber erscheinen ausser einzelnen Bläschen von Wasserstoffgas noch kleine Metallkügelchen von silberweisser Farbe und nicht zu verkennendem Metallglanz, die anfänglich flüssig scheinen wie Quecksilber, und sich oft zu grösseren vereinigen. Alsbald aber werden die Kügelchen fest und verlieren durch die Berührung mit der umgebenden Luft ihren Metallglanz. Zieht man, nachdem mehrere solcher Kügelchen sich gebildet haben, den negativen Poldraht von dem Aetzkali zurück, so erstarrt alsbald das noch an dem Draht anhängende Aetzkali und in der erstarrten Masse sind dann einzelne Kaliumkügelchen zerstreut. Taucht man den Draht mit den anhängenden Kügelchen in Wasser, so detoniren sie, indem sie sich auf Kosten des Sauerstoffs des Wassers oxydiren, wobei Wasserstoffgas frei wird, welches sogleich wieder verbrennt.

Mit Aetznatron gelingt der Versuch leichter, d. h. die Natriumkügelchen oxydiren sich nicht ganz so leicht, wie die Kaliumkügelchen; wenn man aber den negativen Poldraht mit den anhaftenden Natriumkügelchen in Wasser taucht, so erfolgt keine Detonation, sondern nur eine lebhafte Entwickelung von Wasserstoffbläschen, indem das Natrium sich wieder zu Natron oxydirt.

Wenn sich etwas grössere Kügelchen von Kalium oder Natrium am negativen Poldraht angesetzt haben, so kann man sie vor fernerer Oxydation dadurch schützen, dass man den Draht rasch in rectificirtes Steinöl (eine sauerstofffreie Flüssigkeit) eintaucht und die Kügelchen vom Drahte ablöst.

In der Regel verbreiten sich zahlreiche, äusserst feine Metallkügelchen, von dem negativen Poldrahte sich ablösend, in der geschmolzenen Masse des Alkalis, welches dadurch etwas geschwärzt wird. Wirft man die erstarrte Masse dann in Wasser, so erfolgt eine lebhafte Wasserzersetzung.

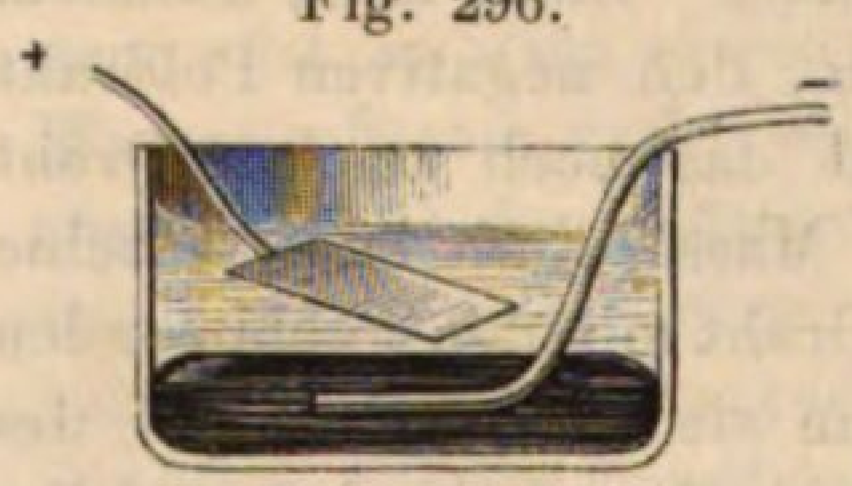
Wenn die Masse des Alkalis vollständiger geschmolzen und dadurch der Strom kräftiger geworden ist, so erfolgt die Reoxydation des reducirten Alkalimetalls schon in der Masse meist unter Feuererscheinung.

Wenn sich etwas grössere Kügelchen des Alkalimetalls gebildet haben, so ist dann die Verbrennung öfters von einer Detonation begleitet.

Davy wandte zu seinen Versuchen einen Trogapparat von 250 Plattenpaaren an. Ermann und Simon gebrauchten eine Säule von 60 Plattenpaaren, deren jedes 8 Zoll Durchmesser hatte. Eine Säule von 10 bis 12 Bunsen'schen Bechern genügt zu diesem Versuche vollkommen.

Seebeck hat ein Mittel angegeben, um das durch die Säule ausgeschiedene Kalium sicherer zu sammeln. In ein Stück kaustischen Kalis, welches zersetzt werden soll, wird eine Höhlung gemacht und Quecksilber in dieselbe gegossen. Das Kali wird dann auf ein mit dem positiven Pole der Säule in Verbindung stehendes Platinstück gelegt, das negative Drahtende aber in das Quecksilber getaucht. Alsbald geht die Zersetzung vor sich; Sauerstoff wird am Platin frei, das Kalium aber verbindet sich mit dem Quecksilber zu einem ziemlich beständigen Amalgam. Am leichtesten erhält man das Amalgam der Alkalimetalle auf folgende, Fig. 296 dargestellte Weise. Auf den Boden eines Glasgefässes wird Quecksilber gegossen und in dasselbe ein Platindraht eingetaucht, welcher bis auf den unteren horizontal umgebogenen Theil mit Siegellack überzogen ist. Dieser Draht wird mit dem negativen Pol einer Säule (von etwa 6 bis 10 Zinkkohlenbechern) in Verbindung gebracht. Auf das Quecksilber giesst man nun die concentrirte alkalische Lösung und taucht in dieselbe eine mit dem positiven Pol einer Säule verbundene Platinplatte. Die Zersetzung geht sogleich vor sich und das Kalium wird von dem Quecksilber unter beträchtlicher Temperaturerhöhung aufgenommen. Dieses Amalgam erstarrt beim Erkalten.

Fig. 296.



Nachdem man die Alkalien als Metalloxyde erkannt hatte, war kein Zweifel mehr, dass auch die alkalischen Erden, Kalkerde, Baryterde, Bittererde (Magnesia) u. s. w., oxydirte Metalle seien.

Davy erhielt im Jahre 1808 das metallische Radical der Baryterde, das Baryum, indem er aus Baryterde oder kohlensaurem Baryt und Wasser einen Teig bildete, und diesen auf ein mit dem positiven Pole der Säule verbundenes Platinblech legte, sodann in eine Vertiefung im Teig etwas Quecksilber goss und in dieses den negativen Pol der Säule eintauchte. — Das so erhaltene Amalgam wurde durch Erhitzen in einer gebogenen und mit Steinöldampf gefüllten Röhre von Quecksilber befreit.

111 **Galvanische Zersetzung geschmolzener Chlormetalle.** Wenn man die Chlormetalle im geschmolzenen Zustande dem Strom aussetzt, so werden sie gleichfalls zersetzt und zwar in der Art, dass das Chlor am positiven, das Metall am negativen Pole ausgeschieden wird. Faraday stellte den Versuch in der Weise an, dass er das Chlormetall,

z. B. Chlorsilber oder Chlorblei, auf einer Glasplatte oder in einer Uförmig gebogenen Glasröhre durch eine Weingeistlampe schmolz und dann die Poldrähte in das geschmolzene Salz eintauchte. Wenn das am positiven Pol austretende Chlorgas die Substanz dieses Poles angreift, so kann es nicht als Gas entweichen, sondern es verbindet sich mit dem Metall. Taucht man z. B. silberne Poldrähte in geschmolzenes Chlorsilber, so wird der positive Pol in dem Maasse aufgelöst, in welchem sich metallisches Silber an dem anderen Poldrahte ansetzt.

Bunsen hat in neuerer Zeit auch die leicht oxydirbaren Metalle der Alkalien und Erden aus ihren geschmolzenen Chlorverbindungen galvanisch abgeschieden. — Er hat gezeigt, dass man in den meisten Fällen nur durch grosse Stromdichtigkeit am negativen Pole zum Ziele gelangt; um aber den Strom am negativen Pole möglichst zusammenzudrängen, ist es nothwendig, die Oberfläche des negativen Poles möglichst zu reduciren, was Bunsen dadurch erreicht, dass er als negativen Pol nicht Platinplatten, sondern Platin- oder Eisendrähte anwandte.

Der Einfluss der Stromdichtigkeit am negativen Pole ist leicht zu übersehen. Wenn ein kräftiger Strom am negativen Pole auf einen kleinen Querschnitt zusammengedrängt ist, so ist auch die der Stromstärke entsprechende Metallreduction auf einen kleinen Raum zusammengedrängt, so dass die dicht nebeneinander ausgeschiedenen Metallkügelchen sich eher zu etwas grösseren Stücken vereinigen können. Wenn dagegen bei gleicher Stromstärke die negative Polplatte eine grosse Oberfläche hat, so wird die gleiche reducirte Metallmenge auf einen grösseren Raum ausgebreitet, sie kann also überall nur in feinst-vertheiltem Zustande auftreten, wodurch eine Reoxydation begünstigt und die Vereinigung zu etwas grösseren zusammenhängenden Stücken erschwert wird.

Unter Bunsen's Leitung hat Matthiessen mehrere derartige Reductionen ausgeführt. Die Darstellung des Calciums gelang am besten auf folgende Weise: Ein Gemisch von 2 Aequivalent Chlorcalcium mit 1 Aequivalent Chlorstrontium und Chlorammonium wird in einem kleinen Porcellantiegel geschmolzen und in die geschmolzene Masse ein Bunsen'sches Kohlenstück als positiver Pol eingetaucht, während als negativer Pol der ungefähr aus 6 Zinkkohlenbechern bestehenden Säule ein an einem dickeren Drahte befestigter und nur 2 Linien tief in die Flüssigkeit eingetauchter Klaviersaitendraht dient. Die Flamme unter dem Tiegel wird so regulirt, dass die Masse um den negativen Poldraht herum oben etwas erstarrt und eine kleine schützende Kruste bildet. Ungefähr alle drei Minuten wird der Draht sammt der anhängenden Kruste herausgenommen, um unter Steinöl die daran sitzenden Calciumkörnchen abzusondern.

Das so dargestellte Calcium hat die Farbe des Glockenmetalls, zeigt, frisch angefeilt, ausgezeichneten Glanz, ist sehr ductil, aber in ausgehämmerten Stücken spröde. In vollkommen trockener Luft erhält sich das Calcium oft Tage lang ohne anzulaufen, in feuchter Luft überzieht

es sich aber bald mit einer grauen Schicht und verwandelt sich allmälig in Kalkhydrat.

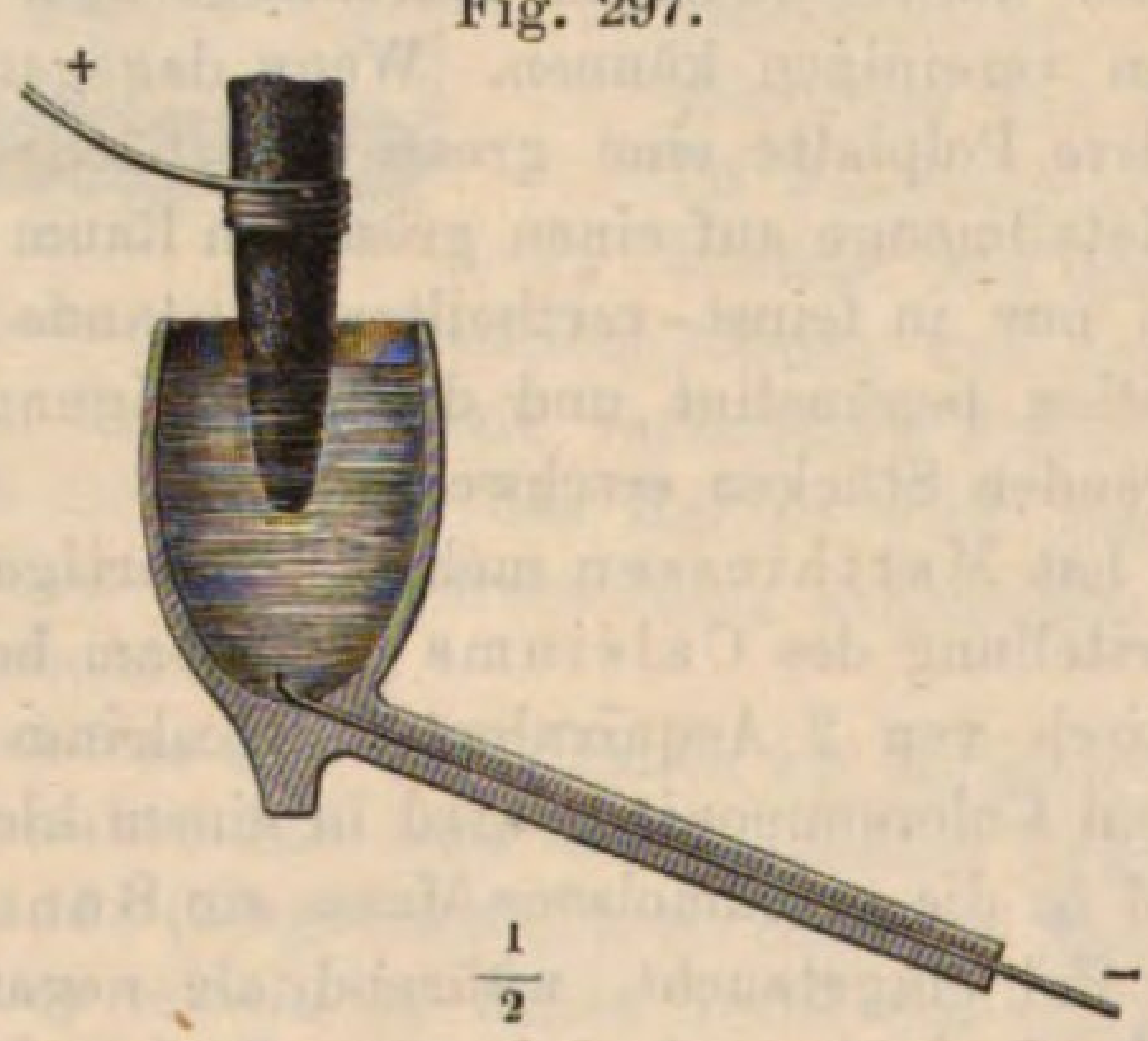
Auf dieselbe Weise lässt sich auch Natrium aus geschmolzenem Kochsalz darstellen und Lithium aus einer geschmolzenen Masse von Chlorlithium reduciren; die am negativen Eisendraht sich bildende Lithiumkugel kann man, da sie durch eine Schicht geschmolzenen Chlorlithiums vor Oxydation geschützt bleibt, mittelst eines kleinen löffelförmigen Spatels sammt dem Eisendraht herausnehmen und unter Steinöl von Draht ablösen.

Das Lithium ist silberweiss, auf der frischen Schnittfläche läuft es aber sofort gelblich an; sein specifisches Gewicht ist als Mittel aus zwei Bestimmungen 0,594. Das Lithium ist sehr zähe und lässt sich zu Draht ausziehen, seine Festigkeit ist aber geringer als die des Bleies.

Magnesium wird am leichtesten aus einer Mischung von nahe zu gleichem Gewichte Chlorkalium und Chlormagnesium erhalten. Da das Magnesium specifisch schwerer ist als die geschmolzene Mischung, so kann man den negativen Poldraht im unteren Ende der Zerlegungszelle anbringen, was am leichtesten auf folgende Weise bewerkstelligt wird.

Man steckt durch die Röhre einer irdenen Pfeife einen Eisendraht so in dieselbe ein, dass er noch 1 bis 2 Linien in den Kopf hineinragt, wie Fig. 297 zeigt. Das in den Pfeifenkopf eingefüllte Gemisch wird geschmolzen und dann in dasselbe ein mit dem positiven Pole der Säule verbundenes Stück Kohle eingetaucht, während der Eisendraht mit dem negativen Pole der Säule in Verbindung gebracht wird.

Fig. 297.



An dem Kohlenpole findet eine lebhafte Chlorentwickelung statt. Nachdem der Strom ungefähr $^1/_2$ Stunde lang durch die geschmolzene Masse hindurch geleitet worden ist, wird er unterbrochen und der Pfeifenkopf zerschlagen; man findet dann zahlreiche ziemlich grosse Körnchen von Magnesium in der erstarrten Salzmasse.

Gemenge verschiedener Chlormetalle werden zu diesen Versuchen vorzüglich deshalb angewandt, weil sie schon bei einer niedrigeren Temperatur schmelzen als die einzelnen Chlormetalle.

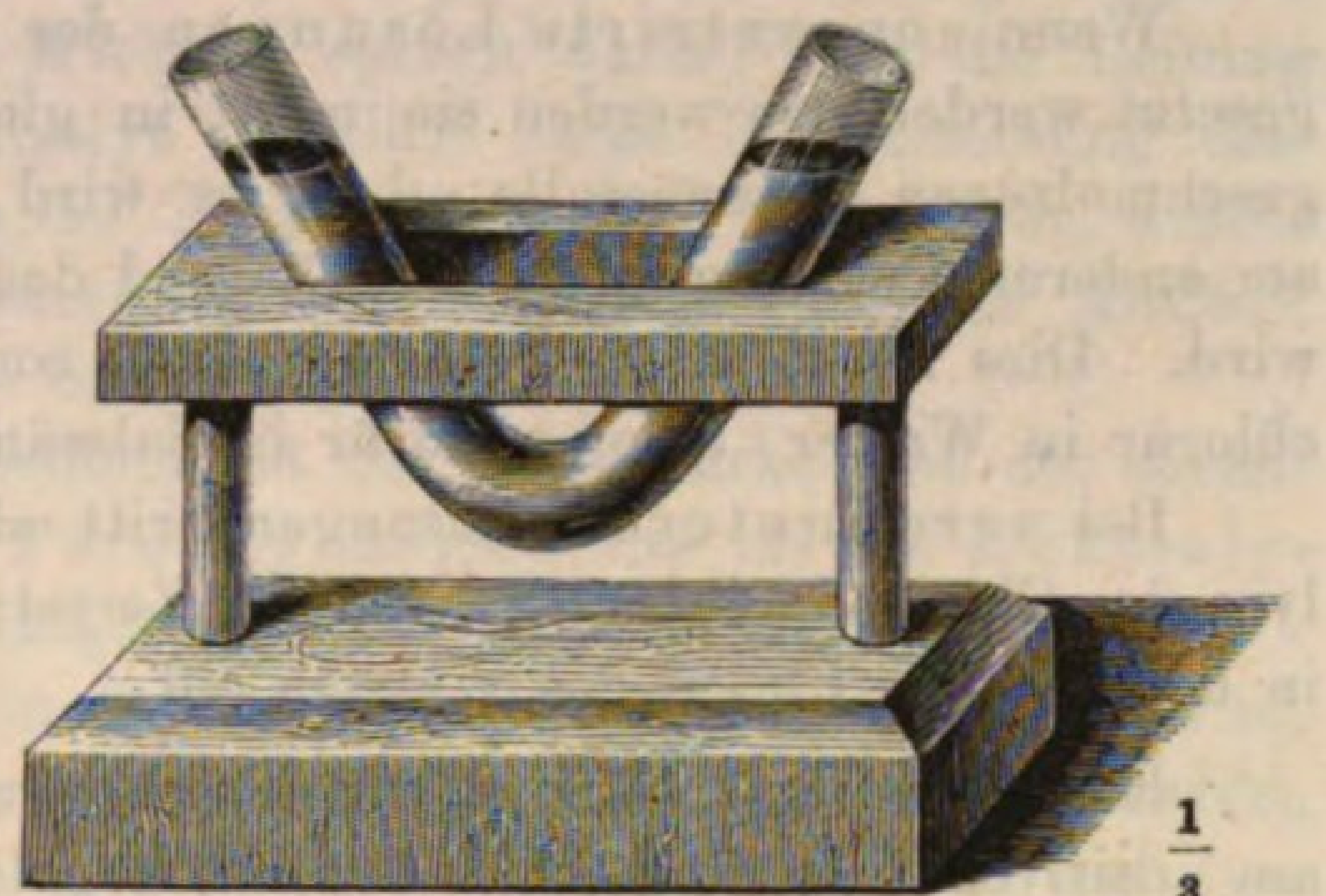
112 **Galvanische Zersetzung der Salzlösungen.** Auch Salzlösungen werden durch den galvanischen Strom zerlegt, und zwar erscheint die Säure nebst Sauerstoff am positiven, die Basis nebst

Wasserstoff am negativen Pole. Die Zerlegung der Salze lässt sich dem Auge auf folgende Weise sehr gut sichtbar machen. Man fülle eine Uförmig gebogene Röhre, Fig. 298 oder Fig. 299, mit einer Salzlösung, etwa mit einer Lösung von Glaubersalz, die durch etwas Malventinctur violett gefärbt ist. Taucht man nun auf der einen Seite

Fig. 298.



Fig. 299.



1/3

die positive, auf der anderen die negative Polplatte in die Flüssigkeit, so tritt eine Gasentwickelung an beiden Polen ein, zugleich aber wird die Flüssigkeit am positiven Pole **roth**, am negativen **grün** gefärbt.

Giesst man eine Salzlösung in zwei nebeneinander stehende Gefässe, die durch ein feuchtes Asbestgewebe oder durch einen mit der Flüssigkeit gefüllten Heber verbunden sind, taucht man dann in das eine Gefäss den positiven, in das andere den negativen Poldraht, so geht die Zersetzung ebenfalls vor sich, und nach einiger Zeit findet sich freie Säure in dem Gefässe, in welchem der positive Draht eingetaucht ist, freies Alkali im anderen.

In dieser Weise treten jedoch die Zersetzungserscheinungen nur bei den **Alkalisalzen** auf. Bei der **Elektrolyse** (so nennt nämlich **Faraday** die galvanische Zersetzung, während er die der galvanischen Zersetzung unterworfenen Flüssigkeiten als **Elektrolyte** bezeichnet) der **Metallsalze** dagegen, deren metallische Basis eine geringere Verwandtschaft zum Sauerstoff haben, wird am positiven Pole gleichfalls Sauerstoff und Säure ausgeschieden, am negativen Pole aber das Metall als solches niedergeschlagen. Taucht man z. B. die aus Platin bestehenden Polplatten einer Säule in eine Lösung von **Kupfervitriol**, so steigen am positiven Pol Bläschen von Sauerstoff auf, während man an der negativen Polplatte gar keine Gasentwickelung beobachtet. Nimmt man aber nach einiger Zeit die negative Polplatte aus der Lösung heraus, so findet man sie vollständig mit metallischem Kupfer überzogen.

Faraday nennt die Polplatten Elektroden, Wege, auf denen der Strom in das Elektrolyt ein- und austritt, und zwar ist der positive Pol die Anode, der negative die Kathode. Die Bestandtheile des Elektrolyts heissen Ionen, und zwar ist das Kation das positive, das Anion das negative Element.

Von der Metallreduction durch den galvanischen Strom hat man zahlreiche praktische Anwendungen gemacht, die in einem der nächsten Paragraphen besprochen werden sollen.

Wenn concentrirte Lösungen der Chlormetalle dem Strom ausgesetzt werden, so werden sie meist in gleicher Weise zersetzt, wie die geschmolzenen Chlormetalle, d. h. es wird Chlor am einen, das Metall am anderen Pol ausgeschieden, während das Lösungsmittel nicht zersetzt wird. Dies ist z. B. der Fall bei einer concentrirten Lösung von Zinnchlorür in Wasser, Kupferchlorür in Salzsäure u. s. w.

Bei verdünnteren Lösungen tritt allerdings neben der Elektrolyse des Chlormetalles auch noch die Zersetzung des Lösungsmittels, also in den meisten Fällen des Wassers auf.

Eine gesättigte Lösung von Kochsalz wird so zerlegt, dass Chlor am positiven Pole entweicht. Das am negativen Pole ausgeschiedene Natrium oxydirt sich aber sogleich wieder, indem es dem Wasser der Lösung den Sauerstoff entzieht und dadurch eine entsprechende Entbindung von Wasserstoffgas bewirkt, so dass man am negativen Pole Wasserstoffbläschen aufsteigen sieht.

Chrom und Mangan hat Bunsen aus den wässerigen Lösungen der Chlorverbindungen auf folgende Weise elektrolytisch reducirt. In einem kleinen Kohlentiegel, welcher selbst wieder in einem Porcellantiegel stand, wurde eine kleine Thonzelle (ungefähr 1 Zoll hoch, $^1/_2$ Zoll weit) gesetzt und dann die Thonzelle mit der Lösung des Chlormetalls, der Kohlentiegel und Porcellantiegel aber mit Salzsäure gefüllt. Der Kohlentiegel wurde mit dem positiven Pole einer aus 6 Zinkkohlenbechern bestehenden Säule verbunden und in die Flüssigkeit der Thonzelle dann ein als negative Polplatte dienender Platinstreifen eingetaucht, während das Ganze auf dem Wasserbade warm erhalten wurde.

Als die Thonzelle eine concentrirte Lösung von chromchloridhaltigem Chromchlorür enthielt, schied sich das Chrom am Platinstreifen als zusammenhängendes, aber völlig sprödes Blech aus, dessen an dem Platinpole anliegende Fläche vollkommen blank und metallglänzend war. Das so erhaltene Chrom gleicht im äusseren Ansehen sehr dem Eisen. Nach der gleichen Methode kann man aus einer Lösung von Manganchlorür das Mangan in Form von metallglänzenden Blechen abscheiden, welche gleichfalls sehr spröde sind und sich an feuchter Luft sehr leicht oxydiren.

Wendet man statt des Platinstreifens einen amalgamirten Platindraht als negativen Pol an, so wird es sogar möglich, aus concentrirten

kochendheissen Lösungen von Chlorcalcium und Chlorbarium Amalgam von Baryum und Calcium zu erhalten (Pogg. Annal. Bd. XCI, S. 623).

Das elektrolytische Gesetz. Schon in §. 81 haben wir gesehen, dass die Stärke eines durch ein Voltameter geleiteten Stromes der entwickelten Knallgasmenge, also auch der chemischen Zersetzung im Voltameter proportional ist. Dieser innige Zusammenhang zwischen Stromstärke und chemischer Wirkung spricht dafür, dass die Leitung eines Stromes durch ein Elektrolyt lediglich durch die Zersetzung desselben vermittelt wird und in der That sind solche Flüssigkeiten, welche durch den Strom nicht elektrolysirt werden, wie absoluter Alkohol, Oel u. s. w., auch unfähig den Strom zu leiten. 113

Der Satz von der Proportionalität der Stromstärke und der chemischen Wirkung ist zuerst von Faraday, welcher ihn als das elektrolytische Gesetz bezeichnete, aufgestellt und bewiesen worden.

Wenn derselbe Strom durch vier Zersetzungszellen geleitet wird, von denen die erste Wasser, die zweite Chlorsilber, die dritte Chlorblei, die vierte Chlorzinn, alle aber im flüssigen Zustande, enthält, so verhalten sich die Quantitäten Wasserstoffgas, Silber, Blei und Zinn, welche an den vier negativen Polen ausgeschieden werden, wie 1 : 108 : 103,6 : 57,9, während an den positiven Polen Sauerstoffgas und Chlor, und zwar im Verhältnisse von 8 : 35,4, ausgeschieden werden. Aehnliche Thatsachen sind für viele andere zusammengesetzte Körper dargethan worden.

Faraday hat den Satz ausgesprochen, dass binäre Verbindungen, d. h. solche, welche aus zwei Elementen zusammengesetzt sind, nur dann Elektrolyte seien, wenn 1 Aequivalent des einen Elementes immer nur mit 1 Aequivalent des anderen verbunden ist. Dies hat sich jedoch nicht bestätigt; Becquerel z. B. hat gezeigt, dass nicht allein Kupferchlorid ($CuCl$), sondern auch Kupferchlorür (Cu_2Cl) elektrolysirt werde. Dem elektrolytischen Gesetze zufolge zerlegt derselbe Strom, welcher 1 Aequivalent Kupferchlorid elektrolysirt, auch 1 Aequivalent Kupferchlorür. Wird derselbe Strom durch eine concentrirte Lösung des Chlorürs und eine concentrirte Lösung des Chlorids geleitet, so wird an den positiven Polplatten beider Zersetzungszellen gleichviel Chlor entwickelt, an den negativen Polplatten scheidet sich aber aus dem Chlorür doppelt so viel Kupfer ab, als aus dem Chlorid.

Eine chemische Zersetzung findet aber nicht allein in den Zersetzungszellen statt, welche man in den Schliessungsbogen der galvanischen Säule eingeschaltet hat, sie geht in gleicher Weise in jedem Becher der Säule vor sich, welche den Strom liefert; in jedem Element der Säule geht der positive Strom von der Zinkplatte durch die Flüssigkeit zur gegenüberstehenden Kupfer- (oder Platin- oder Kohlen-)platte und dieser Uebergang wird auch hier nur durch die Zersetzung der Flüssigkeit vermittelt.

Gewöhnliches käufliches Zink wird in verdünnter Schwefelsäure heftig angegriffen und aufgelöst. Wenn man also solches Zink zur Construction einer Säule anwendet, so findet eine lebhafte Gasentwickelung in allen Zellen statt, ehe man noch die Kette geschlossen hat, es wird also schon Wasser zersetzt und Zink aufgelöst, ohne dass ein Strom durch den Apparat hindurchgeht. Diese von der Strombildung völlig unabhängige Wasserzersetzung und Zinkconsumtion wird mit dem Namen der localen Wirkung bezeichnet. Wird eine solche Säule geschlossen, so kommt zu der localen Wirkung noch die chemische Wirkung hinzu, welche zur Stromleitung erforderlich ist.

Diese locale Wirkung wird nun dadurch bedeutend vermindert oder selbst ganz aufgehoben, dass man die Zinkplatten amalgamirt, d. h. dadurch, dass man sie mit einer Schicht von Quecksilber überzieht, was dadurch bewerkstelligt wird, dass man die Oberfläche der Platte durch Eintauchen in verdünnte Schwefelsäure von ihrer Oxydschicht befreit und sie dann rasch in Quecksilber eintaucht oder eine entsprechende Quantität Quecksilber mit einem Lappen auf derselben einreibt, wodurch die Zinkplatte ein silberglänzendes Ansehen erhält. Eine gute Amalgamation der Zinkplatten ist für alle constanten Batterien unerlässlich, wenn nicht eine enorme Zinkconsumtion stattfinden und in Folge der bedeutenden Bildung des schlecht leitenden Zinkvitriols (vergleiche Seite 277) eine rasche Abnahme der Stromstärke erfolgen soll.

In einer Säule, in welcher keine locale Wirkung stattfindet, ist nun auch die chemische Zersetzung in jedem einzelnen Becher, also auch die Zinkconsumtion stets der Stromstärke proportional, wie dies Faraday zuerst nachgewiesen hat. — Er fand, dass für jeden Gewichtstheil Wasserstoffgas, welches zwischen den Polplatten des Voltameters frei wurde, in jeder Zelle 32,5 Gewichtstheile Zink aufgelöst worden waren. Für jedes Aequivalent Wasserstoff also, welches in der Zerlegungszelle entwickelt wird, muss in jeder Zelle der Säule 1 Aequivalent Zink (Bd. I, S. 23) aufgelöst werden.

Folgender von Bunsen in Marburg angestellter Versuch mag dies erläutern. Die Thonzelle eines Zinkkohlenbechers wurde mit Kochsalzlösung gefüllt, damit gar kein directer Angriff des amalgamirten Zinkcylinders stattfände. Der Zinkcylinder wurde vor dem Versuche gewogen. Nach Einsetzung desselben in die Kochsalzlösung wurde die Kette mittelst einer Tangentenbussole geschlossen. Die Ablenkung betrug $40^{0}\,12'$. Nach 5 Minuten wurde der Strom unterbrochen, und durch eine zweite Wägung des Zinkcylinders ergab sich, dass während dieser 5 Minuten 505 Milligramme Zink aufgelöst worden waren.

Der Reductionsfactor jener Tangentenbussole ist für Marburg 63, woraus sich die Stromstärke während jener 5 Minuten gleich 53,2 ergiebt.

Nun aber wiegt 1 Cubikcentimeter Knallgas unter den oben näher bezeichneten Bedingungen 0,52 Milligramm; wäre also jener Strom in un-

veränderter Stärke 5 Minuten lang durch ein Voltameter gegangen, so würde er $53,2 \times 5 \,.\, 0,52 = 138,3$ Milligramm Wasser zersetzt haben. Da sich aber das chemische Aequivalent des Wassers zu dem des Zinkes verhält wie 9 : 32,5, so entspricht der Zerlegung von 138,3 Milligrammen Wasser die Auflösung von $\frac{138,3 \,.\, 32,5}{9} = 499$ Milligrammen Zink, was mit der beobachteten Auflösung von 505 Milligrammen in der That sehr nahe übereinstimmt.

Nach diesen Bemerkungen ist man nun auch im Stande, die Kosten zu vergleichen, welche bei Säulen von verschiedener Construction nöthig sind, um einen Strom von bestimmter Stärke hervorzubringen. Ist bei einem gegebenen Schliessungsbogen z. B. eine Säule von 6 Bunsen'schen Bechern nöthig, so wird für jedes Aequivalent Wasser, welches ein Strom von dieser Stärke in einem Voltameter zu zersetzen vermag, in jedem Becher 1 Aequivalent Zink, 1 Aequivalent Schwefelsäure und 1 Aequivalent Salpetersäure, zusammen also in der ganzen Säule 6 Aequivalente Zink, 6 Aequivalente Schwefel- und 6 Aequivalente Salpetersäure verzehrt. Wollte man nun dieselbe Stromstärke in demselben Schliessungsbogen mit Daniell'schen Bechern hervorbringen, so müsste man die Zahl der zur Säule verbundenen Becher im Verhältniss von 470 zu 800 vermehren, weil sich die elektromotorische Kraft eines Daniell'schen Bechers zu der eines Bunsen'schen verhält wie 470 zu 800, man müsste also eine Säule von 10 Daniell'schen Bechern anwenden und die Consumtion betrüge dann für die gleiche Stromstärke, wie sie die Bunsen'sche Kette lieferte, 10 Aequivalente Zink, 10 Aequivalente Schwefelsäure und 10 Aequivalente Kupfervitriol. Um denselben Strom mit einer Wollaston'schen Säule hervorzubringen, müsste man 24 Plattenpaare anwenden, deren Gesammtwiderstand gleich ist dem Gesammtwiderstande der 6 Bunsen'schen Becher, in diesem Falle beträgt also die Consumtion 24 Aequivalente Zink + 24 Aequivalente Schwefelsäure.

Hier ist nur die Consumtion in Anschlag gebracht, welche zur Hervorbringung des Stromes erforderlich ist; ausser dieser findet aber stets noch eine bedeutende locale Wirkung an den Zinkplatten statt, welche der Stromstärke nicht zu Gute kommt. Diese lässt sich nicht berechnen, sie ist um so grösser, je stärker die Schwefelsäure ist. Der Nachtheil der localen Wirkung wächst natürlich mit der Zahl der Zellen, er wird also unter sonst gleichen Umständen bedeutender sein bei Anwendung einer Wollaston'schen Säule als bei einer Daniell'schen, und bei einer Daniell'schen bedeutender als bei einer Bunsen'schen.

Chemische Wirkungen der Reibungselektricität. Schon 114
im Jahre 1789 brachten Päts van Troastwyck und Drimann dadurch eine Wasserzersetzung hervor, dass sie in einer mit Wasser gefüllten Röhre zwischen zwei Golddrähten die Entladungsschläge einer Leydener

Flasche übergehen liessen. Wollaston beförderte die Wasserzersetzung der Reibungselektricität dadurch, dass er die Berührung der Poldrähte mit dem Wasser möglichst beschränkte, was er dadurch bewerkstelligte, dass er feine Golddrähte (gegenwärtig wendet man statt dessen Platindrähte an) in Haarröhrchen von Glas einschmolz und das auf der einen Seite hervorragende Drahtstück bis auf das Glas wegfeilte, so dass in Wasser eingetaucht der Platindraht nur noch mit seinem Querschnitte mit dem Wasser in Berührung stand.

Stellt man zwei solcher Wollaston'schen Spitzen in Wasser einander gegenüber, so erhält man an jeder derselben eine Gasentwickelung, wenn man den einen Draht zum Boden ableitet und auf den anderen vom Conductor der Elektrisirmaschine ungefähr $^1/_{20}$ Zoll lange Fünkchen überschlagen lässt.

Wollaston fand, dass bei diesem Verfahren an jeder Polspitze Sauerstoffgas und Wasserstoffgas zugleich frei wird. Buff dagegen erhielt aus luftfreiem destillirten oder schwach gesäuerten Wasser an der positiven Polspitze reines Sauerstoffgas, über der negativen reines Wasserstoffgas, als der eine Draht mit dem Conductor, der andere mit dem Reibzeuge einer Elektrisirmaschine in Verbindung gesetzt und diese umgedreht wurde; und zwar erhielt er während eines dreistündigen Drehens 42,5 Cubikmillimeter Wasserstoffgas und 14,5 Cubikmillimeter Sauerstoffgas. Ersetzt man das Wasser durch eine Lösung von Kupfervitriol, so erhält man nun am positiven Pole eine Entwickelung von Gasbläschen, während sich am negativen Pole Kupfer absetzt.

Fig. 300.

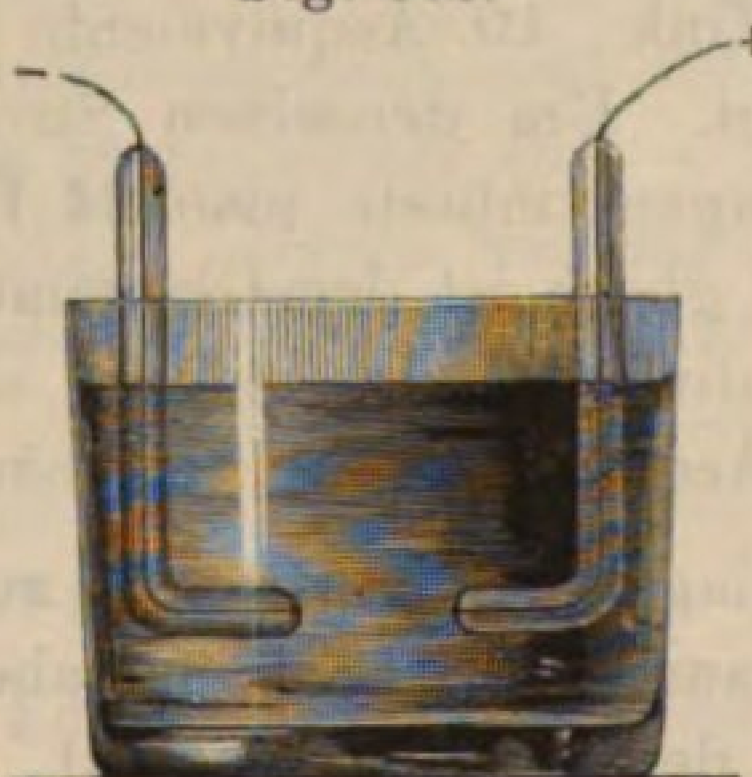
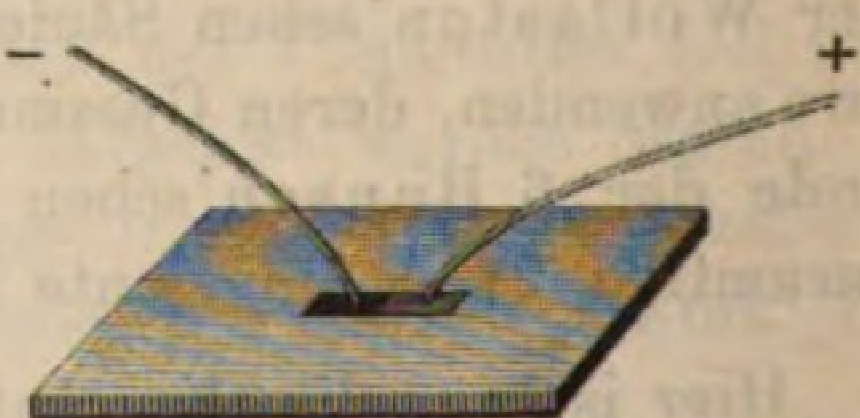


Fig. 301.

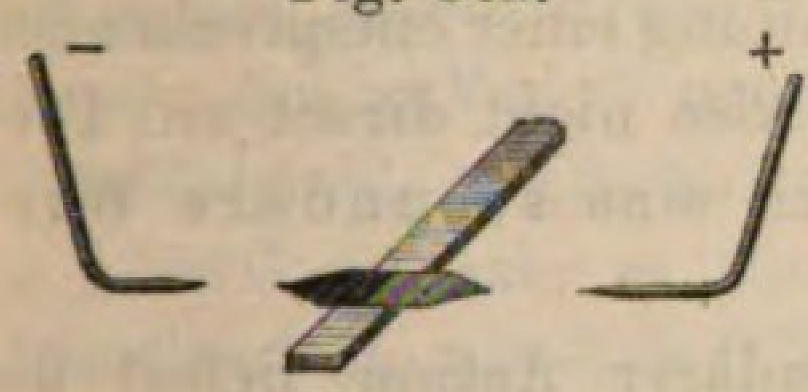


Wenn man auf eine Glasplatte ein Stückchen Papier legt, welches mit einer Lösung von Glaubersalz getränkt ist und dessen eine Hälfte mit Curcumatinctur gelb, dessen andere Hälfte aber durch Lackmustinctur blau gefärbt ist, wenn man alsdann auf die Lackmushälfte einen Draht aufsetzt, welcher mit dem positiven Conductor der Elektrisirmaschine in Verbindung steht, während ein die andere Hälfte des Papiers berührender Draht zum Boden abgeleitet ist, Fig. 301, so entsteht um den positiven Poldraht herum ein rother, um den negativen ein brauner Fleck, sobald die Maschine einige Zeit lang gedreht wird.

Faraday änderte diesen Versuch auch dahin ab, dass er ein auf

ähnliche Weise präparirtes Stückchen Papier, von einem Glasstreifen getragen, so zwischen zwei Platinspitzen brachte, dass das Papier nicht in unmittelbarer Berührung mit den Spitzen stand, Fig. 302; die dem Lackmusende zugekehrte Spitze wurde mit dem positiven Conductor der Maschine in Verbindung gesetzt, die andere zum Boden abgeleitet. Die durch die Drehung der Maschine bewirkte Zersetzung des Salzes wurde alsbald, wie im vorigen Versuche, durch eine Farbenänderung merklich gemacht.

Fig. 302.



Leitung schwacher Ströme durch Flüssigkeiten. Die Physiker sind darüber noch nicht einig, ob die chemisch zusammengesetzten Flüssigkeiten die Elektricität einzig und allein in Folge chemischer Zersetzung zu leiten im Stande sind, oder ob sie auch geringe Mengen von Elektricität in ähnlicher Weise leiten können, wie die Metalle, oder mit anderen Worten, ob die Flüssigkeiten der Elektricität nur elektrolytisch oder auch physikalisch leiten. 115

Die Vertheidiger der physikalischen Leitungsfähigkeit der Flüssigkeiten, unter denen besonders Faraday zu nennen ist, führen für ihre Ansicht den Umstand an, dass in vielen Fällen Ströme durch Flüssigkeiten, namentlich durch Wasser, hindurchgehen, deren Existenz sich durch Multiplicatoren nachweisen lässt, ohne dass man eine Spur von Gasbildung wahrnimmt. Masson führt zu Gunsten der physikalischen Leitungsfähigkeit an, dass an zwei in Weingeist eingetauchten Platindrähten eine lebhafte Gasentwickelung eintrat, als man mittelst derselben den Strom eines Inductionsapparates (den wir später werden kennen lernen) durch die Flüssigkeit hindurchleitete; als man aber das Gas untersuchte, fand sich, dass es nur aus Weingeistdampf bestand, dass also keine Elektrolyse stattgefunden hatte.

Unter denjenigen Physikern, welche eine ausschliesslich elektrolytische Leitungsfähigkeit annehmen, sind besonders Buff und de la Rive zu nennen. Der Letztere stützt seine Ansicht besonders darauf, dass man selbst in solchen Fällen, wo ein Strom durch Flüssigkeiten geleitet wird, ohne dass man eine Gasausscheidung wahrnehmen kann, doch stets eine Polarisation der Polplatten nachgewiesen werden kann, welche doch nur die Folge einer vorausgegangenen Gasausscheidung sein kann, während Buff für die ausschliesslich elektrolytische Leitungsfähigkeit besonders den Umstand hervorhebt, dass sich selbst für die allerschwächsten Ströme, durch welche stündlich nur $^1/_{80}$ Cubikmillimeter Wasserstoff ausgeschieden werden kann, die Proportionalität der Zersetzung mit der (durch einen Multiplicator gemessenen) Stromstärke noch bewährt (Annalen der Chemie und Pharmacie Bd. XCVI, S. 257).

Secundäre Action. Nicht in allen Fällen können die durch die Elektrolyse getrennten Elemente frei aus der Flüssigkeit austreten, son- 116

dern häufig geschieht es, dass sie selbst wieder chemisch auf die Flüssigkeit wirken und so eine secundäre Zersetzung veranlassen. Einen derartigen Fall haben wir bereits bei der Elektrolyse der Kochsalzlösung kennen gelernt. Das durch die Elektrolyse ausgeschiedene Natrium kann nicht für sich in der wässerigen Lösung bestehen, es entzieht dem Wasser seinen Sauerstoff und bewirkt dadurch die Entbindung einer entsprechenden Menge Wasserstoffgas. Dieses Wasserstoffgas ist also nicht direct ein Product der Elektrolyse, sondern es ist nur durch eine secundäre Wirkung frei geworden.

Ein sehr interessantes Beispiel von secundärer Action liefert die Elektrolyse einer gesättigten Salmiaklösung. Taucht man Polplatten von Platin in eine solche, so entwickelt sich Wasserstoffgas am negativen Pol; am positiven Pole aber entweicht kein Chlor, und wenn die Lösung concentrirt genug ist, auch kein Sauerstoffgas; dagegen bedeckt sich die positive Platinplatte mit gelblichen öligen Tropfen von Chlorstickstoff.

Diese Bildung des Chlorstickstoffs ist offenbar eine secundäre Wirkung. Der Salmiak (Chlorammonium, H_4NCl) wird durch die Elektrolyse in Chlor, Cl, und Ammonium, H_4N, zerlegt. Das am negativen Pole auftretende Ammonium, H_4N, zerfällt sogleich in Wasserstoff, H, welcher entweicht, und in Ammoniak, H_3N. Das am positiven Pole nascirende Chlor zersetzt aber das Chlorammonium der Lösung unter Bildung von Chlorstickstoff und Salzsäure. Wenn nämlich zu 1 Aeq. Chlorammonium, H_4NCl, noch 6 Aequivalente Chlor, also 6 Cl, hinzutreten, so bildet sich 4 HCl (4 Aequivalente Salzsäure) und Chlorstickstoff, NCl_3.

Giesst man auf die Salmiaklösung, nachdem die beiden Polplatten in dieselbe eingetaucht sind, eine dünne Schicht von Terpentinöl, so explodiren die aufsteigenden Tröpfchen von Chlorstickstoff, sobald sie mit dem Terpentinöl in Berührung kommen, unter Knall und Lichterscheinung. Dieser Versuch gelingt am besten, wenn die Salmiaklösung etwas erwärmt ist.

Der Sauerstoff, welcher durch den galvanischen Strom an der positiven Polplatte ausgeschieden wird, hat im Augenblicke seiner Entstehung sehr stark oxydirende Eigenschaften, so dass er Verbindungen bildet, welche der freie Sauerstoff sonst nicht direct eingeht. So liefert z. B. die Elektrolyse der Salzsäure, besonders wenn ihr ein paar Tropfen Schwefelsäure zugesetzt sind, ein Gemenge freier Chlorsäure und Ueberchlorsäure, während gleichzeitig freies Chlorgas am + Pol und Wasserstoffgas am — Pol in Masse entweichen. Es haben sich also hier Chlor und Sauerstoff im *status nascens* direct mit einander vereinigt.

Das starke Oxydationsvermögen des elektrolytisch ausgeschiedenen Sauerstoffs hängt offenbar mit der auf §. 101 besprochenen Thatsache zusammen, dass der elektrolytisch ausgeschiedene Sauerstoff einer Platinplatte eine viel bedeutendere Polarisation mittheilt als der gewöhnliche Sauerstoff.

Kolbe hat die oxydirenden Eigenschaften des elektrolysirten Sauerstoffs weiter verfolgt und namentlich auch bei organischen Substanzen interessante Zersetzungen auf diesem Wege erhalten. So erhielt er z. B. durch Einwirkung des Stromes auf eine Lösung von valeriansaurem Kali in Folge der oxydirenden Wirkung des Sauerstoffs am positiven Pole unter Ausscheidung von Kohlensäure einen eigenthümlich ölartigen Körper, den er Valyl nennt und dessen Zusammensetzung $C_8 H_9$ ist. Das reine Valyl ist in Alkohol und Aether, aber nicht in Wasser löslich, siedet bei 108° C., ist sehr entzündlich und hat ein auffallend niedriges specifisches Gewicht, nämlich 0,694.

Wir können hier diesen Gegenstand nicht weiter verfolgen. Näheres darüber in meinem „Bericht u. s. w." Seite 442.

Taucht man die beiden aus Platin bestehenden Polplatten in eine Auflösung von Bleizucker, so bildet sich unter dem oxydirenden Einflusse des am positiven Pole elektrolysirten Sauerstoffs braunes Bleihyperoxyd, welches sich auf der positiven Polplatte absetzt.

Auf ähnliche Weise und aus demselben Grunde setzt sich am positiven Pole Manganhyperoxyd ab, wenn die Flüssigkeit aufgelöstes Manganoxydul enthält.

Das Bleihyperoxyd ist noch mehr elektronegativ als Platin, so dass eine mit Bleihyperoxyd überzogene Platinplatte sich elektronegativ gegen eine reine Platinplatte verhält. Eine Combination von Bleihyperoxyd mit Zink muss demnach einen Rheomotor geben, dessen elektromotorische Kraft noch grösser ist, als die eines Bunsen'schen oder Grove'schen Bechers; allein ein solcher Rheomotor ist sehr vergänglich. Das Wasserstoffgas, welches sich an der negativen Polplatte ausscheidet, entzieht dem Hyperoxyd einen Theil seines Sauerstoffs, so dass es in kurzer Zeit ganz verzehrt wird.

Theorie der Elektrolyse der Salzlösungen. Verfolgt man 117
die elektrolytische Zerlegung von Salzlösungen genauer, so stösst man alsbald auf Umstände, welche auf den ersten Anblick mit dem Faraday'schen Gesetze von der festen elektrolytischen Action in Widerspruch zu stehen scheinen. Füllt man nämlich ein Mal ein Voltameter mit verdünnter Schwefelsäure, das andere Mal mit der Lösung eines Alkalisalzes, z. B. mit einer Lösung von Glaubersalz, so erhält man in beiden Fällen bei gleicher Stromstärke auch gleiche Mengen von Knallgas, im letzteren Falle aber neben der Wasserzersetzung auch noch eine Zerlegung des Salzes, indem sich die Säure am positiven, die Basis am negativen Pole ausscheidet.

Daniell theilte den Zersetzungsraum eines Voltameters durch eine poröse, zwischen den beiden Polplatten angebrachte Scheidewand in zwei Theile, und füllte beide Hälften mit einer Lösung von schwefelsaurem Natron. Ein durchgeleiteter Strom lieferte die der Stromstärke entsprechende Menge an Gasen, die Untersuchung der in beiden Abthei-

lungen enthaltenen Flüssigkeit ergab aber, dass auf 1 Aequivalent zerlegten Wassers auch sehr nahe 1 Aequivalent Schwefelsäure in der positiven und nahe 1 Aequivalent Natron in der negativen Zelle ausgeschieden worden war.

Ausser dem Voltameter war auch noch eine Röhre mit geschmolzenem Chlorblei in den Schliessungsbogen eingeschaltet gewesen, und es ergab sich das merkwürdige Resultat, dass auf 1 Aequivalent zersetzten Chlorbleies in dem Voltameter 1 Aequivalent Wasser und ausserdem noch 1 Aequivalent Salz zerlegt worden war.

Nach der gewöhnlichen Betrachtungsweise erscheint also in der Salzlösungszelle eine doppelt so grosse chemische Wirkung als diejenige ist, welche derselbe Strom in der Chlorbleizelle hervorbrachte; mit dem Gesetze der festen elektrolytischen Action steht das im Widerspruch.

Um diesen Widerspruch zu heben, betrachtet Daniell die Constitution der Salze anders, als es gewöhnlich geschieht; er betrachtet z. B. das schwefelsaure Natron nicht als zunächst gebildet durch die Verbindung von Säure und Basis, sondern er nimmt an, der elektronegative Bestandtheil des Salzes sei 1 Aequivalent Schwefel mit 4 Aequivalenten Sauerstoff, während der positive Bestandtheil dieses Salzes nur Natrium ist.

Gemäss dieser Ansicht wäre also

Schwefelsaures Natron	nicht	$SO_3 . NaO$,	sondern	$SO_4 . Na$,
Schwefelsaures Kali	„	$SO_3 . KO$	„	$SO_4 . K$,
Salpetersaures Kali	„	$NO_5 . KO$	„	$NO_6 . K$,
Phosphorsaures Natron	„	$PO^{5}/_{2} . NaO$	„	$PO^{7}/_{2} . Na$,
Kupfervitriol	„	$SO_3 . CuO$	„	$SO_4 . Cu$.

Geht der Strom durch die Auflösung eines solchen Salzes, so wird nicht das Wasser, sondern das Salz in die eben bezeichneten Bestandtheile zerlegt. Bei der Elektrolyse des Glaubersalzes tritt also an der positiven Polplatte als directe Wirkung der Elektrolyse SO_4 auf, von dem sich aber sogleich O abscheidet, um gasförmig zu entweichen und SO_3 zurückzulassen, während das am anderen Pole ausgeschiedene Na den Sauerstoff des Wassers an sich zieht, und so für jedes Aequivalent Na ein Aequivalent Wasserstoff entbindet und das durch secundäre Wirkung entstandene NaO in der Flüssigkeit gelöst bleibt.

Ganz ebenso geht der Process bei der Elektrolysation des Kupfervitriols vor sich, mit dem einzigen Unterschiede, dass das am negativen Pole reducirte Kupfer sich nicht sogleich wieder oxydirt und dadurch Wasserstoff frei macht, sondern sich in metallischer Form an den negativen Pol ansetzt.

Daniell schlägt auch eine dieser theoretischen Ansicht von der Constitution der unorganischen Salze entsprechende neue Nomenclatur vor; so nennt er die Verbindung SO_4 Oxysulphion, NO_6 Oxynitrion u. s. w. Demgemäss ist

Schwefelsaures Kupferoxyd = Kupferoxysulphion,
Salpetersaures Kali = Kaliumoxynitrion,
u. s. w.

Die Versuche mit concentrirter Salmiaklösung stimmen ganz mit der Ansicht überein, dass der Salmiak Chlorammonium sei, also zusammengesetzt aus dem einfachen Anion (negativer Bestandtheil) Cl (Chlor) und dem zusammengesetzten Kation (positiver Bestandtheil) NH_4 (Ammonium). Wenn der positive Pol aus Zinn besteht, so wird er aufgelöst, während am negativen Pole Wasserstoff und Ammoniak frei wird, welche durch das Zerfallen von NH_4 in NH_3 und H entstehen.

Das schwefelsaure Ammoniak ist demgemäss Ammonium-Oxysulphion, $SO_4 . NH_4$.

Diese Ansichten führen dann auch zu der in der Chemie schon mehrfach besprochenen Verallgemeinerung der Theorie der Wasserstoffsäuren, der zufolge die wasserhaltigen Sauerstoffsäuren, wie die Wasserstoffsäuren, binäre Verbindungen von Wasserstoff mit einem Radical sind; so wäre also die wässerige Schwefelsäure $SO_4 . H$.

Zwischen Schwefelsäurehydrat, $SO_4 . H$, und schwefelsaurem Natron, $SO_4 . Na$, bestände demnach dieselbe Beziehung wie zwischen Salzsäure, ClH, und Kochsalz, ClNa; das H ist nur durch Na ersetzt.

Mit dieser Ansicht wollen nun die Versuche über die Elektrolyse der verdünnten Schwefelsäure noch nicht recht harmoniren.

Wenn das Schwefelsäurehydrat wirklich Wasserstoffoxysulphion ist, so muss es bei der Elektrolyse in H und SO_4 zerlegt werden; das am positiven Pole freiwerdende Oxysulphion zerfällt aber sogleich in SO_3 und O, welch letzterer Bestandtheil gasförmig entweicht, während SO_3 in der Flüssigkeit zurückbleibt; es müsste also für jedes Aequivalent Wasserstoffgas, H, welches an der negativen, und für jedes Aequivalent Sauerstoff, O, welches an der positiven Elektrode frei wird, ein Aequivalent Schwefelsäure, SO_3, am positiven Pole auftreten; den Versuchen Daniell's zufolge findet sich aber nach der Elektrolyse in der positiven Zelle nur $^1/_4$ Aequivalent SO_3 mehr als vorher.

Daniell erklärt dies dadurch, dass er die verdünnte Schwefelsäure als ein zusammengesetztes Elektrolyt, bestehend aus Wasser und Schwefelsäurehydrat, betrachtet. Der Strom theile sich zwischen beiden so, dass $^3/_4$ durch Wasser, $^1/_4$ durch Schwefelsäurehydrat geleitet werde, und man erhält also

am positiven Pole	am negativen Pole
$^3/_4$ Aeq. O	$^3/_4$ Aeq. H
$^1/_4$ Aeq. SO_4	$^1/_4$ Aeq. H,

und durch Zerfallen von SO_4

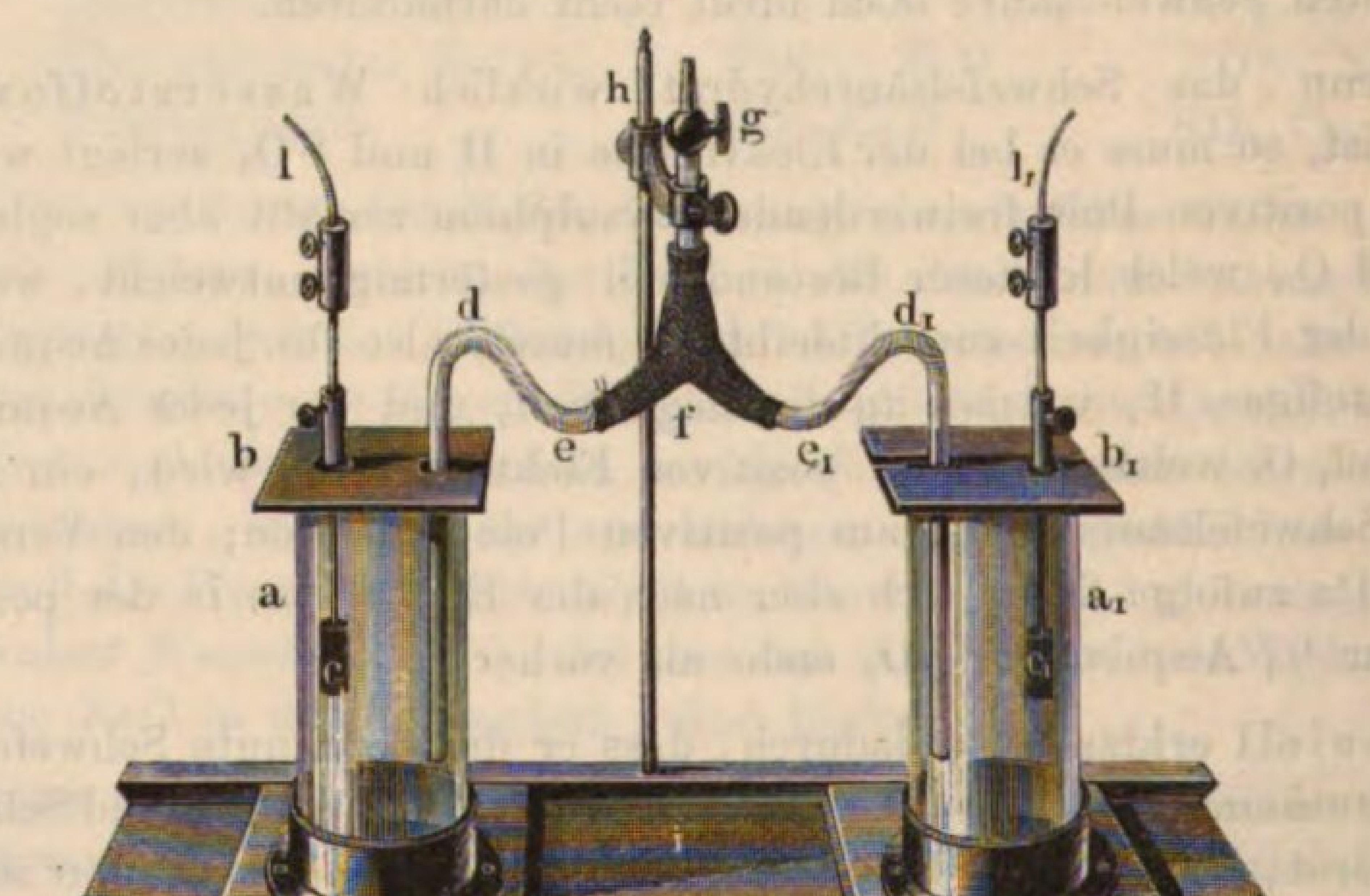
am positiven Pole	am negativen Pole
$^3/_4$ Aeq. O	$^3/_4$ Aeq. H
$^1/_4$ Aeq. SO_3 + $^1/_4$ Aeq. O	$^1/_4$ Aeq. H
$^1/_4$ Aeq. SO_3 + 1 Aeq. O	1 Aeq. H

wie es der Versuch gezeigt hat.

118 **Wanderung der Ionen zwischen den Polplatten.** Wenn man die der Elektrolyse auszusetzende Lösung in zwei getrennte Gefässe füllt, wenn man dann dieselben durch ein mit derselben Lösung gefülltes Heberrohr verbindet, und in das eine Gefäss die positive, in das andere Gefäss die negative Polplatte eintaucht, so bleibt, wie wir dies schon im vorigen Paragraphen gesehen haben, die Zusammensetzung der Lösung in beiden Gefässen keineswegs die gleiche, allein eine genauere Untersuchung wie sie Hittorf und namentlich Wiedemann vorgenommen haben, zeigt bald, dass zur Erklärung der hier auftretenden Erscheinungen die im vorigen Paragraphen besprochene Daniell'sche Theorie keineswegs ausreicht.

Um nach beendigter Elektrolyse den Heber entfernen zu können, ohne dass durch denselben ein Theil des Inhalts aus dem einen Gefässe in das andere überfliessen kann, wandte Wiedemann die in Fig. 303 dargestellte Vorrichtung an. In jedes der beiden Gefässe a und a_1 war

Fig. 303.



ein Glasrohr eingesetzt, welches oben gebogen war, wie es unsere Figur zeigt. Diese beiden Glasröhren waren dann durch einen Kautschukschlauch verbunden, in welchen oben ein Glashahn eingesetzt war. Um

den so gebildeten Heber zu füllen, wurde der Glashahn geöffnet und dann die Flüssigkeit aufgesaugt, bis die Glasröhren sammt dem Kautschukschlauch ganz gefüllt waren. — Nach Beendigung der Elektrolyse wurde der Hahn geöffnet und es fiel nun der Inhalt eines jeden Rohrs in sein Gefäss zurück, ohne dass ein Ueberströmen aus einem Gefässe in das andere stattfinden konnte.

In das eine der beiden Gefässe wurde die positive, in das andere die negative Polplatte eingetaucht, und ausser diesem Zersetzungsapparate noch eine mit Kupfervitriollösung gefüllte Zersetzungszelle in den Schliessungsbogen der aus 12 bis 16 Daniell'schen Bechern bestehenden Säule eingeschaltet. — Der Strom blieb 10 bis 12 Stunden im Gange, und das Gewicht des während dieser Zeit an der negativen Polplatte der Kupfervitriolzelle niedergeschlagenen Kupfers diente dann als Maass für die chemische Wirkung, welche der Strom hervorgebracht hatte.

Folgendes sind die Resultate einiger mit dieser Vorrichtung angestellter Versuche, bei welchen die in die beiden Gefässe eingetauchten Polplatten aus Platin bestanden.

Als in die beiden Gefässe verdünnte Schwefelsäure eingefüllt worden war, deren specifisches Gewicht 1,116 betrug, war nach Beendigung der Elektrolyse das Gefäss, in welches man die positive Polplatte eingetaucht hatte, reicher an Schwefelsäure geworden, und zwar fand sich, dass für 1 Aequivalent des in der Voltameterzelle niedergeschlagenen Kupfers 0,18 Aequivalent Schwefelsäure von dem negativen zu dem positiven Pole übergeführt worden war. In gleicher Weise fand Wiedemann für eine Natronlösung vom specifischen Gewichte 1,06, dass auf 1 Aeq. des im Voltameter abgeschiedenen Kupfers 0,16 Aeq. Natron vom positiven zum negativen Pole übergeführt worden war.

Die Säuren wandern also zum positiven, die Basen zum negativen Pol.

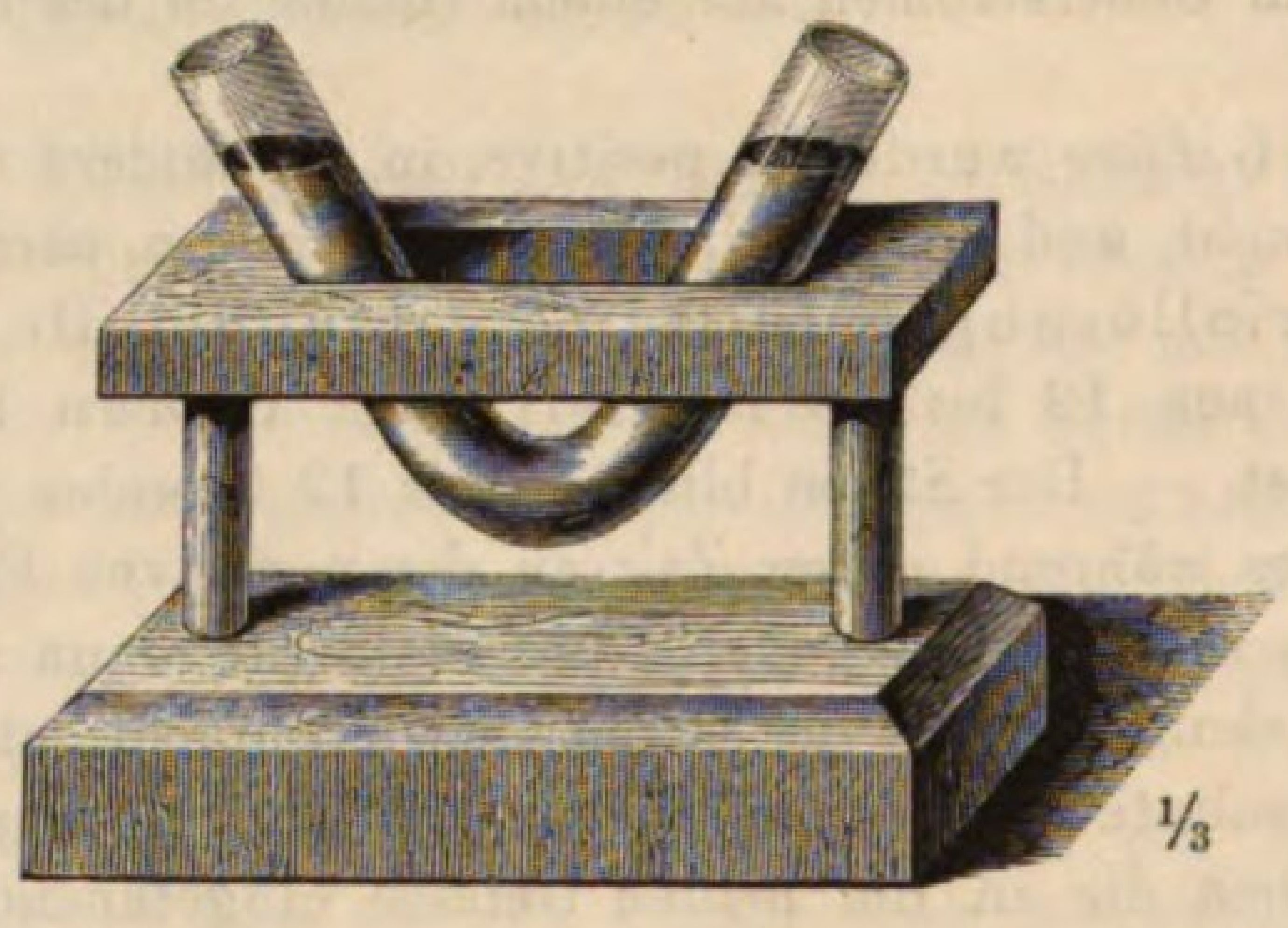
Als auch die beiden Glasgefässe mit einer Lösung von Kupfervitriol gefüllt waren (specif. Gewicht 1,09), fand sich, dass auf 1 Aequivalent des an der negativen Polplatte abgesetzten Kupfers 0,18 Aeq. Kupfer in das negative Gefäss übergegangen waren, und als beide Polplatten von Kupfer waren, stieg die in das negative Gefäss übergegangene Kupfermenge auf 0,36 des an der negativen Polplatte abgelagerten Kupfers.

Da also, mögen nun die Polplatten aus Platin oder aus Kupfer bestehen, nicht so viel Kupfer aus dem positiven in das negative Gefäss übergeht, als sich aus der Lösung des negativen Gefässes auf die negative Polplatte absetzt, so ist klar, dass die Flüssigkeit um den negativen Pol fortwährend heller wird, wie man dies auch schon beobachten kann, wenn man die Elektrolyse der Kupfervitriollösung in der Röhre Fig. 304 (a. f. S.) vornimmt.

Sind beide Polplatten von Platin, so nimmt der Kupfergehalt der Lösung am positiven und am negativen Pole ab, am negativen aber schneller. Sind die Elektroden von Kupfer, so nimmt der Kupfergehalt am positiven Pole zu, weil für 1 Aeq. Kupfer, welches an der negativen

Elektrode niedergeschlagen wird, auch 1 Aeq. Kupfer vom positiven Pole gelöst wird, während eine weit geringere Kupfermenge zum negativen Pole überwandert.

Fig. 304.



1/3

Hittorf erklärt dieses eigenthümliche Verhalten dadurch, dass die Ionen mit ungleicher Geschwindigkeit ihren Polen zuwandern, dass also in unserem Falle SO_3 und O schneller gegen den positiven Pol hinwandern, als Cu nach der entgegengesetzten Richtung.

Wiedemann führt diese Erscheinungen darauf zurück, dass zu dem normalen, rein elektrolytischen Vorgange noch eine zweite Wirkung des Stromes hinzutritt, die man als eine mechanische bezeichnen kann und die wir im nächsten Paragraphen näher betrachten wollen.

119 **Mechanische Ueberführung der Flüssigkeiten vom positiven zum negativen Pole.** Wie beim galvanischen Flammenbogen vorzugsweise ein Ueberströmen vom positiven zum negativen Pole stattfindet, so zeigt sich auch beim Durchgange des Stromes durch Flüssigkeiten eine Tendenz, dieselben gegen den negativen Pol hinzutreiben. Wenn man die Biegung des Rohrs Fig. 304 durch einen Pfropf von feuchtem Thon verschliesst, wenn man alsdann beide Schenkel zu gleicher Höhe mit reinem Wasser füllt und in dasselbe die Polplatten einer Säule von ungefähr 6 bis 10 Bunsen'schen Bechern eintaucht, so ist zwar wegen der schlechten Leitungsfähigkeit des Wassers die Gasentwickelung unbedeutend, dagegen findet ein bedeutendes Sinken des Wassers im positiven und ein entsprechendes Steigen im negativen Schenkel statt. Ebenso wie beim Wasser beobachtet man dieses Ueberführen zum negativen Pole auch bei einer Lösung von Kupfervitriol.

Weingeist zeigt diese Erscheinung noch stärker als reines Wasser.

Es ist vortheilhaft, statt des Thonpfropfes eine Scheidewand von gebranntem porösen Thon anzuwenden, was am einfachsten in folgender Weise geschieht: Auf den kürzeren Schenkel einer gebogenen Glasröhre *ab*, Fig. 305, wird eine möglichst genau passende kleine Thonzelle aufgekittet, und zwar so, dass der Boden der Thonzelle auf dem Ende des Glasrohres aufsitzt. Ueber die Thonzelle wird dann eine zweite etwas weitere aber gleichfalls wieder möglichst genau passende Glasröhre aufgekittet und zwar mit Siegellack, wenn der Apparat für wässerige Flüssigkeiten,

mit Hausenblase, wenn er für Weingeist dienen soll, immer aber so, dass der Boden des Thonzellchens rein bleibt.

Man hat diese Ueberführung der Flüssigkeit durch die poröse Thonwand als elektrische Endosmose bezeichnet.

Um die Menge der zum negativen Pole übergeführten Flüssigkeit genau zu messen, hat Wiedemann den Apparat Fig. 306 construirt:

Fig. 305.

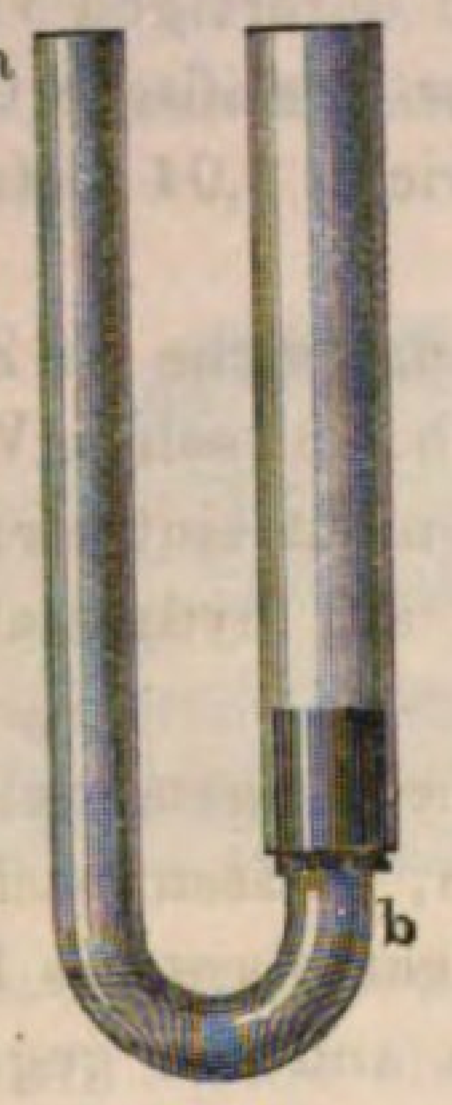
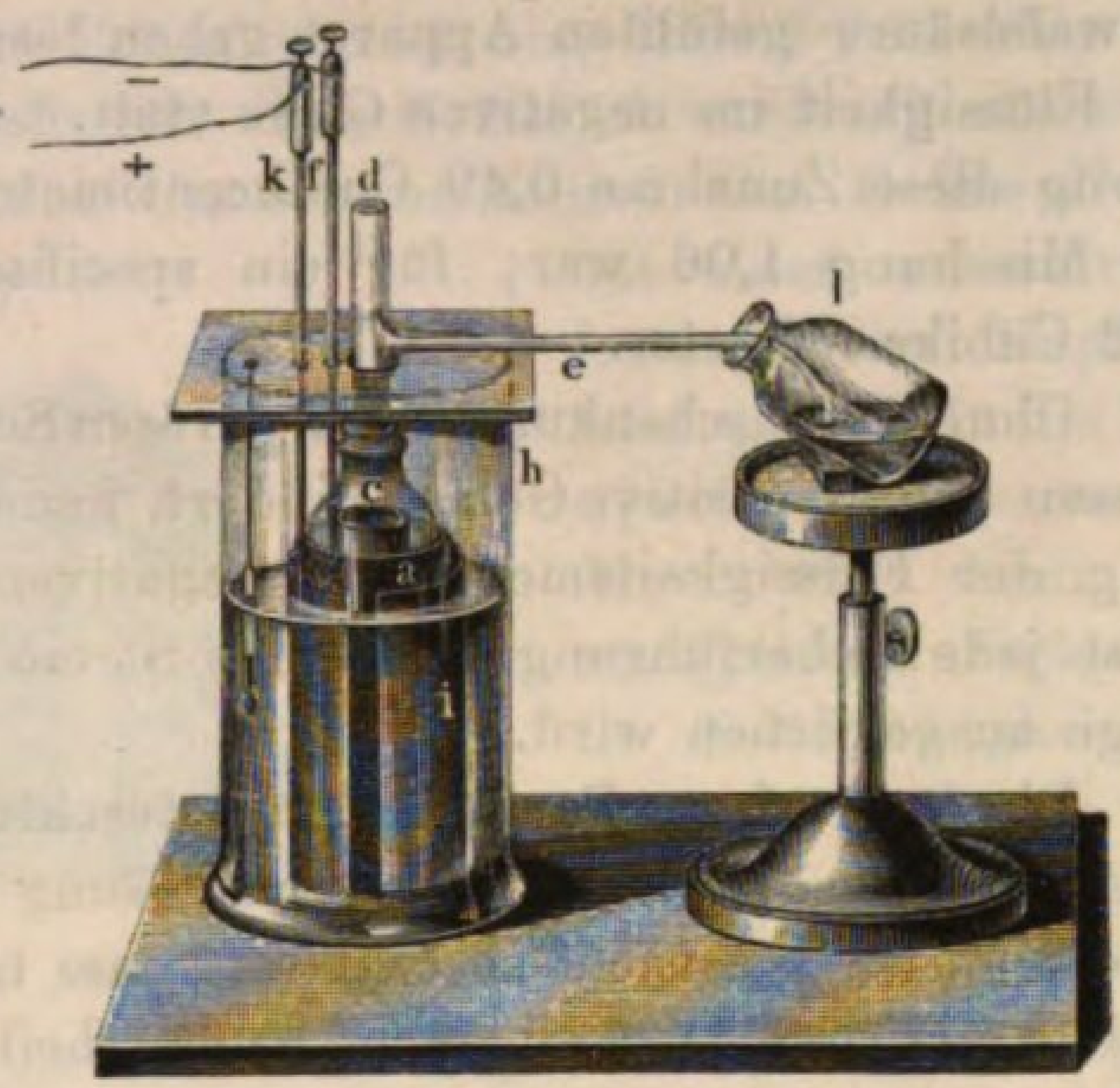


Fig. 306.



Auf einen unten geschlossenen porösen Thoncylinder war oben eine kleine tubulirte Glasglocke gekittet, in deren Oeffnung ein perpendiculäres Rohr *d* mit seitlichem Ausflussrohre *e* eingesetzt war. Innerhalb des Thoncylinders stand ein Cylinder *c* von Kupfer- oder Platinblech, von welchem ein Draht *f* luftdicht in die Wand der Glasglocke eingefügt zum negativen Pol der Säule führte. Ausserhalb war der Thoncylinder von einem zweiten mit dem positiven Pole verbundenen Blechcylinder *i* umgeben. Der ganze Apparat stand in einem weiteren Glascylinder *h*, welcher, wie auch das Innere des Thoncylinders, mit Wasser oder einer anderen Flüssigkeit gefüllt war. Die Stromstärke wurde an einem Galvanometer gemessen.

Bei einer solchen mit Wasser angestellten Versuchsreihe ergab sich in $^1/_4$ Stunde die Ueberführung von 13,26 Gramm für eine Stromstärke 108, während sich für die fast gleiche Stromstärke 106 in gleicher Zeit nur eine Ueberführung von 2,48 Gramm ergab, als der Apparat mit einer Lösung von Kupfervitriol gefüllt war.

Die wichtigsten Gesetze dieser Ueberführung sind nach Wiedemann's Untersuchungen folgende:

1. Für eine und dieselbe Flüssigkeit ist die in gleichen Zeiten auf die Seite des negativen Pols übergeführte Flüssigkeitsmenge der Stromstärke proportional.

2. Unter sonst gleichen Umständen ist die Ueberführung der Flüssig-

keit zum negativen Pole um so bedeutender, je grösser der Leitungswiderstand der Flüssigkeit ist.

Selbst für gut leitende Flüssigkeiten hat Wiedemann eine solche mechanische Ueberführung zum negativen Pole nachgewiesen. Wenn in dem Apparate Fig. 303, S. 330 das obere Ende des in das negative Gefäss herabhängenden Rohres durch eine poröse Thonplatte verschlossen wird, und man den Strom mehrere Stunden lang durch den mit verdünnter Schwefelsäure gefüllten Apparat gehen lässt, so findet eine Vermehrung der Flüssigkeit im negativen Glase statt. Bei einem derartigen Versuche betrug diese Zunahme 0,49 Cubikcentimeter, als das specifische Gewicht der Mischung 1,06 war; für ein specifisches Gewicht 1,04 betrug sie 1,02 Cubikcentimeter.

Ohne Dazwischenkunft einer porösen Scheidewand, welche ein Zurückfliessen in das positive Gefäss hindert, kann natürlich eine solche Vermehrung der Flüssigkeitsmenge im negativen Gefässe nicht eintreten, weil sonst jede Ueberführung durch den Strom sogleich auf hydrostatischem Wege ausgeglichen wird.

Die im vorigen Paragraphen betrachteten Erscheinungen, welche bei der Elektrolyse einer Kupfervitriollösung auftreten, liessen sich nach Wiedemann's Ansicht so erklären, dass bei der Elektrolyse des Kupfervitriols SO^3 und O von einem Kupfertheilchen zum anderen gegen den positiven Pol hin fortwandern, ohne dass die Kupferatome von ihrer Stelle weichen, was für den Fall kupferner Elektroden eine Zunahme der Concentration am + Pol bewirkt; dass aber alsdann durch die mechanische Wirkung des Stromes ein Theil der concentrirteren Lösung aus dem positiven Gefässe in das negative übergeführt wird, wogegen durch die hydrostatische Ausgleichung weniger concentrirte Lösung in das positive Gefäss zurückkommt.

Eine ausführlichere Besprechung der über diesen und verwandte Gegenstände angestellten Untersuchungen findet man in Wiedemann's Lehre vom Galvanismus, Braunschweig 1861.

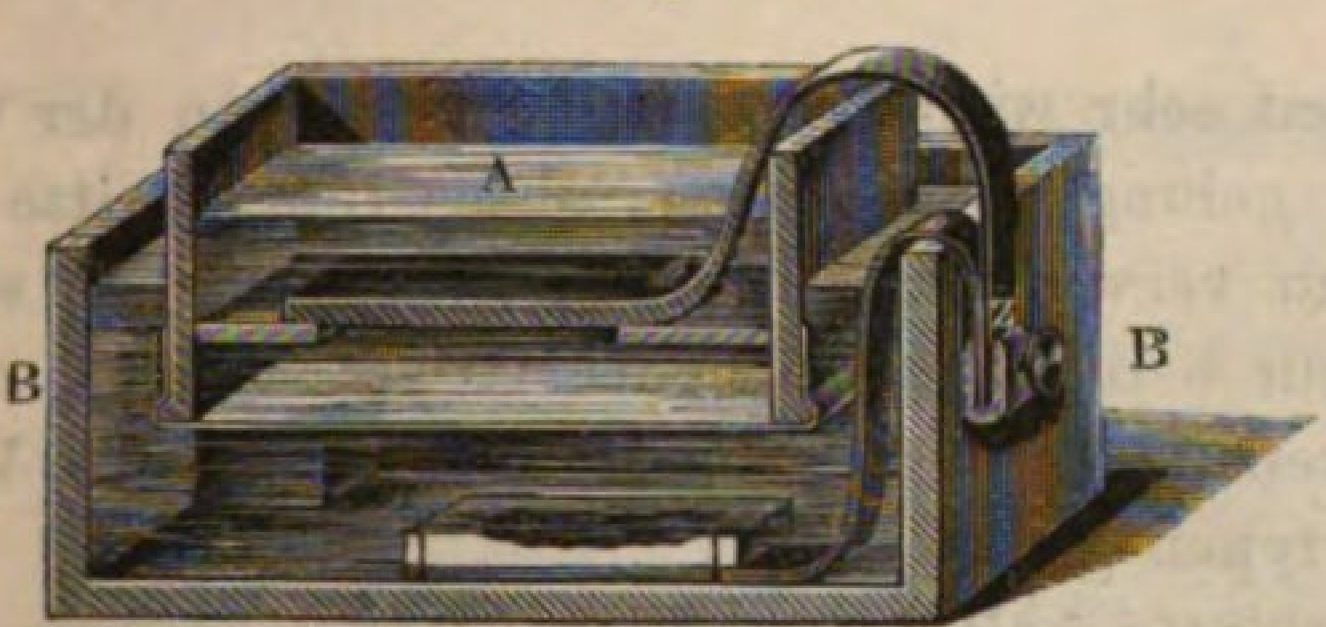
120 **Praktische Anwendungen der Elektrolyse.** Nachdem de la Rive bereits im Jahre 1836 darauf aufmerksam gemacht hatte, dass das auf der Kupferplatte eines Daniell'schen Bechers niedergeschlagene Kupfer von derselben ablösbar und ein mikroskopisch genauer Abdruck derselben sei, so kamen Jacobi und Spencer, wie es scheint fast gleichzeitig, auf den Gedanken, dies praktisch nutzbar zu machen, was denn auch den entschiedensten Erfolg hatte.

Jacobi nannte diese Methode, mittelst elektrolytisch niedergeschlagenen Kupfers den Abdruck einer beliebigen Form darzustellen, „Galvanoplastik", ein Name, welcher allgemein adoptirt wurde.

Um einen galvanoplastischen Abdruck einer metallischen Form, z. B. einer Münze, zu machen, hat man sie nur als negative Polplatte eines schwach geladenen Daniell'schen oder Bunsen'schen Bechers, der po-

sitiven Polplatte gegenüber, in eine concentrirte Lösung von Kupfervitriol zu tauchen. Es ist jedoch nicht einmal nöthig, eine vom Elektromotor gesonderte Zersetzungszelle anzuwenden, indem die metallische Form selbst die Rolle des elektronegativen Metalls in einem einfachen Plattenpaar übernehmen kann. Fig. 307 stellt einen zu diesem Zwecke construirten Apparat dar. Ein Gefäss *A*, welches oben offen ist, dessen Boden aber aus einer Schweins- oder Ochsenblase gebildet wird, ist so in ein weiteres Gefäss *B* eingesetzt, dass der Boden von *A* ungefähr 2 Zoll über dem Boden des Gefässes *B* sich befindet. Das Gefäss *A* wird mit stark verdünnter Schwefelsäure (ungefähr $^1/_{40}$ Schwefelsäure), das Gefäss *B* aber mit einer concentrirten Lösung von Kupfervitriol gefüllt. In die Flüssigkeit des oberen Gefässes wird dann eine amalgamirte Zinkplatte, in die Flüssigkeit des unteren Gefässes wird die aus einem elektronegativen Metalle bestehende Form eingesetzt.

Fig. 307.



Auf irgend eine Weise muss dafür gesorgt sein, dass die Zinkplatte in einiger Entfernung über der Blase gehalten wird, welche den Boden des Gefässes *A* bildet; ferner ist es gut, über der Blase ein Stück Leinen auszubreiten, damit Unreinigkeiten und Metallstückchen, welche von der Zinkplatte herabfallen, nicht mit der Blase in Berührung kommen.

Die Zinkplatte ist mit einem Zinkstreifen versehen, welcher bei *z* durch eine Klemmschraube an einen Metallstreifen angedrückt wird, der zur elektronegativen Form führt.

Am zweckmässigsten stellt man eine solche, als Matrize dienende Form aus Guttapercha her, indem man die weiche Guttapercha auf den zu vervielfältigenden Gegenstand mittelst einer Presse aufdrückt. Um ein Anhaften zwischen der Guttapercha und dem Original zu verhindern, wird letzteres mit einer feinen Graphitschicht überzogen. Die Presse wird erst nach vollständigem Erkalten der Guttapercha geöffnet.

Eine solche Form ist freilich nicht leitend, sie wird es erst dadurch, dass man die Fläche der Form, auf welcher sich das Kupfer absetzen soll, mit einer zarten Schicht von Graphit überzieht, welche mittelst eines weichen Pinsels aufgerieben wird. Diese Form wird sodann auf einem Bleistreifen befestigt, indem man sie mittelst mehrerer Kupferstifte, welche die leitende Verdindung zwischen der Graphitschicht und dem Bleistreifen herstellen, aufnietet.

Dieser Bleistreifen, welcher bei *z* mit dem zur Zinkplatte führenden Zinkstreifen zusammengepresst ist, muss, soweit er in die Lösung von Kupfervitriol eintaucht, mit einem isolirenden Ueberzuge versehen sein,

den man etwa durch Anstreichen mit einer Siegellacklösung herstellen kann.

Der Strom, welcher durch den Apparat circulirt, ist nur schwach; das Kupfer setzt sich langsam ab, und zwar setzt es sich zunächst um die Kupferstiftchen an. Je nachdem der Strom stärker oder schwächer ist, ist in einem oder mehreren Tagen die Kupferschicht dick genug zum Abnehmen. Bei schwächeren Strömen wird der Kupferniederschlag am gleichförmigsten; deshalb darf die Flüssigkeit, in welcher sich die Zinkplatte befindet, nur schwach sauer sein.

Je mehr Kupfer sich abgesetzt hat, desto heller wird die Vitriollösung. Wenn es nöthig ist, muss man die verbrauchte Lösung durch neue ersetzen.

Man hat in neuerer Zeit sehr wichtige Anwendungen von der Galvanoplastik gemacht; es ist gelungen, auf diese Weise Holzschnitte mit aller Schärfe des Originals zu vervielfältigen, wodurch es möglich wird, von einer und derselben Figur beliebig viele Abdrücke zu erhalten, ohne dass die späteren den früheren nachstehen. Die Holzschnitte dieses Werkes sind mit solchen Kupfertypen gedruckt.

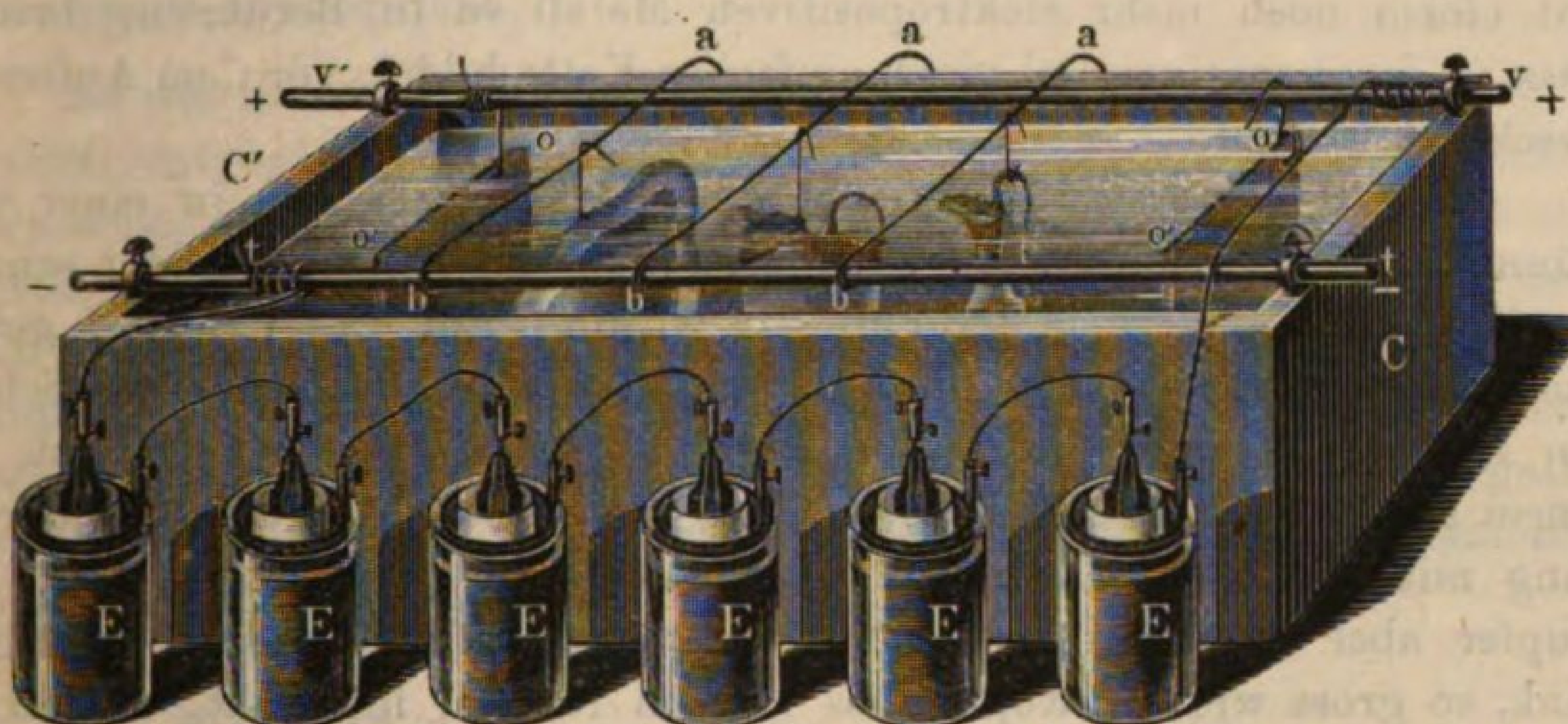
Eine gestochene Kupferplatte hält bekanntlich nicht sehr viele Abdrücke aus, ohne bedeutend zu verlieren; die späteren Abdrücke sind immer schlechter als die ersten; daher der Werth der sogenannten *avant la lettre*. Dadurch ist der Stahlstich so sehr in Aufnahme gekommen, weil eine Stahlplatte ungleich mehr Abdrücke aushalten kann. Für die Kunst ist dies von entschiedenem Nachtheile, weil die Härte dieses Materials dem Künstler sehr grosse technische Schwierigkeiten entgegensetzt, welche es ihm unmöglich machen, auf Stahl ein so vollendetes Kunstwerk zu liefern, wie auf Kupfer. Nun hat man aber gelernt, selbst grosse Kupferplatten auf galvanoplastischem Wege zu vervielfältigen, und zwar so, dass die Abdrücke der Copien, deren man beliebig viele machen kann, denen der Originalplatte ganz gleich sind.

Endlich hat Kobell in München ein mit dem Namen der Galvanographie bezeichnetes Verfahren angegeben, um in Tuschmanier gemalte Bilder durch Galvanoplastik zu vervielfältigen. Auf eine übersilberte Kupferplatte malt man mit einer Farbe, welche dadurch bereitet wird, dass man Oker oder Coaks mit einer Auflösung von Wachs in Terpentinöl anreibt und etwas Dammarafirniss zusetzt. Mit dieser Farbe malt man auf die Platte so, dass die hellsten Lichter frei bleiben und die Farbe um so dicker aufgetragen wird, je dunkler der Schatten sein soll. Sobald das Bild fertig gemalt ist, wird es mit Hülfe eines zarten Pinsels mit feingepulvertem Graphit überzogen und dann in den galvanoplastischen Apparat eingesetzt. Allmälig schlägt sich das Kupfer auf die gemalte Platte nieder und bildet eine zweite Kupferplatte, auf welcher alle Lichtpartien der ersteren eben, die Schattenpartien aber vertieft sind; diese Platte liefert nun, wie eine gestochene Kupferplatte behandelt, Abdrücke, welche einer getuschten Zeichnung ähnlich sehen. Man hat es

in dieser Manier schon zu grosser Vollkommenheit gebracht, und es lässt sich erwarten, dass sie für die Kunst noch von grosser Wichtigkeit werden wird.

Ebenso, wie sich aus einer Auflösung von Kupfervitriol auf galvanischem Wege Kupfer am negativen Pole der Kette absetzt, ebenso setzen sich auch andere Metalle, wie Gold und Silber, aus einer geeigneten Auflösung am negativen Pole ab; darauf beruht die galvanische Vergoldung und Versilberung, zu deren Ausführung man eine Vorrichtung anwendet, wie sie in Fig. 308 dargestellt ist. Ueber einem Troge CC' sind zwei Metallstäbe vv' und tt befestigt, von denen der

Fig. 308.



eine mit dem positiven, der andere mit dem negativen Pole der Säule in leitender Verbindung steht. Der Trog ist mit der Versilberungsflüssigkeit (100 Theile Wasser, 10 Theile Cyankalium und 1 Theil Cyansilber, oder mit der entsprechenden Vergoldungsflüssigkeit) gefüllt, in welche die beiden, mit der positiven Stange vv' in leitender Verbindung stehenden Silberplatten oo' hineinhängen. Diese Silberplatten bilden also die positiven Elektroden. An den starken Drähten ba, welche mit dem negativen Stabe tt leitend verbunden sind, aber den Stab vv' nicht leitend berühren dürfen, sind nun die zu versilbernden (oder zu vergoldenden) Gegenstände angehängt, welche, in die Flüssigkeit eintauchend, die negative Elektrode bilden.

Zur Erzeugung des Stromes dient eine Säule von 4 bis 6 Daniell'schen oder von 2 grossflächigen Bunsen'schen Bechern.

Die Niederschläge von Bleihyperoxyd und Manganhyperoxyd, welche, wie wir auf Seite 327 gesehen haben, auf der positiven Platte sich absetzen, zeigen oft die schönsten Farben, wenn die Schicht noch dünn genug ist. Nobili hat zuerst auf diesem Wege auf Metallplatten Farbenringe dargestellt, die nach ihm die Nobili'schen Ringe genannt werden. Man hat nun dies Verfahren in neuerer Zeit sehr vervollkommnet und diese Farbenringe auch in der Praxis zur Verzierung von mancherlei Metallwaaren, z. B. von Tischglocken etc., angewandt.

Eine Bleilösung, aus welcher man besonders prachtvolle Farbenniederschläge erhält, wird nach Becquerel's Angabe bereitet, indem man feingepulverte Bleiglätte in einer Aetzkalilösung, deren specif. Gewicht ungefähr 1,8 ist, kocht. In diese Flüssigkeit wird nun die den positiven Pol einer Säule von ungefähr 6 Daniell'schen Bechern bildende Metallplatte eingetaucht, und ihr gegenüber der aus einem Platindraht oder einer kleinen Platinplatte bestehende negative Pol der Säule gehalten. Die Farben entwickeln sich sehr rasch. Am negativen Pol scheidet sich metallisches Blei ab.

Ein Metall, welches an und für sich von einer Säure oder irgend einer anderen Flüssigkeit angegriffen wird, kann dadurch, dass man es mit einem noch mehr elektropositiven Metall so in Berührung bringt, dass es den negativen Pol einer einfachen Kette bildet, vor dem Anfressen geschützt werden.

So wird, wenn eine Zink- und eine Kupferplatte sich in einer verdünnten Säure berühren, das Zink schneller, das Kupfer weniger schnell oxydirt, als es ausserdem der Fall sein würde. Für dieses Princip geben die Versuche Davy's über die Erhaltung des Kupferbeschlages der Schiffe ein schönes Beispiel. Eine Kupferplatte in Seewasser eingetaucht, ist einem schnellen Anfressen unterworfen; wenn aber das Kupfer in Berührung mit Zink oder Eisen ist, so werden diese Metalle aufgelöst, das Kupfer aber dadurch geschützt. Davy hat gefunden, dass ein Stück Zink, so gross wie der Kopf eines kleinen Nagels, hinreicht, um 40 bis 50 Quadratzoll Kupfer zu schützen.

Leider hat sich gezeigt, dass diese schöne Methode, das Kupfer rein zu erhalten, praktisch nicht angewendet werden kann, weil das Kupfer bis zu einem gewissen Grade angefressen sein muss, wenn es nicht durch Anhängen von Seegras und Schalthieren verunreinigt werden soll.

Dasselbe Princip hat v. Althaus angewandt, um das Anfressen der eisernen Pfannen, in welchen die Salzsoole versotten wird, zu verhindern. Hier durfte aber das schützende Zink nicht in den Pfannen selbst angebracht werden, weil sonst das gebildete Chlorzink sich in der Salzlösung verbreitet hätte. Er schnitt deshalb die Ecken der Pfannen durch ein Brett ab und goss die so gebildeten Kammern, deren Boden durch die Eisenplatten gebildet wurden, mit Zink aus. So war das Zink mit dem Eisen in metallischer Berührung, und die Flüssigkeit sickerte in hinlänglicher Menge durch das Holz zum Zink durch, um die Kette zu schliessen; das gebildete Chlorzink konnte aber die Salzlösung nicht verunreinigen.

Auf diese Weise wurde es möglich, die Verdampfung bei geringerer Temperatur vorzunehmen, wodurch eine bedeutende Ersparung an Brennmaterial erzielt wurde.

121 **Elektrochemische Theorie.** Die bisher besprochenen Erscheinungen zeigen uns merkwürdige Beziehungen zwischen den chemischen

und elektrischen Kräften. Schon früher hatte man unbestimmt vermuthet, dass bei den chemischen Erscheinungen elektrische Kräfte thätig sein möchten; man ging jedoch erst näher auf diese Vorstellung ein, als die Wasserzersetzung durch die Volta'sche Säule bekannt geworden war. Namentlich waren es Davy und Berzelius, welche dieselbe ausbildeten; sie stellten die elektrochemische Theorie auf, nach welcher die Grundursache der chemischen Verbindung in einer elektrischen Anziehung zu suchen ist. Wenn es auch noch nicht vollständig bewiesen ist, dass chemische Affinität und elektrische Anziehung völlig identisch sind, so muss doch zugegeben werden, dass diese Theorie als ein gemeinsames Band viele Thatsachen auf eine Weise verknüpft, welche der Erfahrung keineswegs widerspricht.

So wie nach der Contacttheorie Zink und Kupfer, in Berührung gebracht, entgegengesetzt elektrisch werden, so werden, nach der elektrochemischen Theorie, die Atome je zweier Elemente entgegengesetzt elektrisch, wenn sie mit einander in Berührung kommen; kurz, alle Elemente sind nach der oben, Seite 194, angegebenen Bedeutung Glieder der Spannungsreihe. Die äussersten Glieder der vollständigen Spannungsreihe sind Sauerstoff und Kalium, und zwar bildet Sauerstoff das negative, Kalium das positive Ende. Folgendes ist eine vollständigere Spannungsreihe:

—

Sauerstoff	Platin	Zink
Schwefel	Silber	Wasserstoff
Selen	Quecksilber	Mangan
Stickstoff	Wismuth	Aluminium
Chlor	Antimon	Beryllium
Brom	Kupfer	Magnesium
Jod	Zinn	Calcium
Fluor	Blei	Strontium
Phosphor	Kobalt	Barium
Kohlenstoff	Nickel	Lithium
Gold	Eisen	Natrium
Platin	Zink	Kalium

+

In dieser Reihe sind die bekannteren einfachen Stoffe enthalten, und jedem ist seine Stelle angewiesen, obgleich in dieser Beziehung noch manche Zweifel herrschen und die Stellung der meisten Körper in der Spannungsreihe nur ungefähr aber nicht genau bestimmt ist. Bei den wenigsten Körpern ist diese Stellung durch directe Versuche ermittelt; für die meisten hat man sie aus ihrem chemischen Verhalten zu erschliessen gesucht.

Nach der elektrochemischen Theorie sind die Atome der Elemente nicht an und für sich elektrisch, sie werden es erst in Berührung mit

anderen, und so kommt es denn, dass ein und derselbe Körper bald positiv, bald negativ elektrisch werden kann. So bildet z. B. Schwefel in Verbindung mit Sauerstoff das elektropositive, in Verbindung mit Wasserstoff das elektronegative Element.

Wir müssen annehmen, dass die Moleküle zweier, eine chemische Verbindung eingehenden Elemente, in Berührung gebracht, entgegengesetzt elektrisch werden, dass aber der grösste Theil der entwickelten Elektricitäten an der Berührungsstelle gebunden bleibt. Wenn z. B. ein Sauerstofftheilchen und ein Wasserstofftheilchen in Berührung kommen, wird das erstere —, das letztere + elektrisch, die beiden Elektricitäten ziehen sich nun an und binden sich wegen der grossen Nähe fast vollständig. Wenn aber auch noch etwas freie $+ E$ auf dem einen und $- E$ auf dem anderen Theilchen ist, so kann die chemische Verbindung doch durchaus keine Zeichen freier Elektricität geben, weil die positiven und negativen Theilchen gleichförmig vertheilt sind und man, wo man auch den Körper berühren mag, ebenso viel positive als negative Theilchen berührt.

Zunächst verbinden sich die einfachen Stoffe, immer je zwei, zu binären Verbindungen. Die zusammengesetzten Körper, wie die Sauerstoff-, Schwefel- und Chlorverbindungen, zeigen unter sich ein ähnliches Verhalten, wie die einfachen Stoffe; diejenigen binären Verbindungen der einfachen Elemente, Oxyde, Sulfüre, Chlorüre u. s. w., welche sich durch negativ elektrische Eigenschaften charakterisiren und zugleich fähig sind, Verbindungen einer höheren Ordnung einzugehen, werden Säuren genannt; diejenigen, welche in ihren weiteren Verbindungen die Rolle des elektropositiven Bestandtheils übernehmen, nennt man Salzbasen.

Der Charakter einer Säure wird sich im Allgemeinen um so stärker ausdrücken, je näher ihre Elemente dem negativen Ende der Spannungsreihe liegen; daher ist die Schwefelsäure die stärkste aller Säuren. Der Sauerstoff bildet Säuren mit den in der oben mitgetheilten Spannungsreihe zu oberst stehenden Körpern, Basen mit den am positiven Ende stehenden Elementen, und in der That ist Kali die stärkste aller Basen.

Wenn ein und derselbe Körper sich in mehreren Verhältnissen mit Sauerstoff verbindet, so wird die Verbindung um so mehr elektronegativ werden; sie wird um so weniger basische und um so mehr saure Eigenschaften annehmen, je mehr das elektronegativste Element, der Sauerstoff, vorherrscht. So bildet 1 Aeq. Mangan, verbunden mit 1 Aeq. Sauerstoff, das Manganoxyd, welches basische Eigenschaften hat, während 1 Aeq. Mangan + 3 Aeq. Sauerstoff die Mangansäure bilden.

Die elektrochemische Theorie reicht in ihrem jetzigen Umfange freilich noch nicht aus, um alle chemischen Erscheinungen vollständig zu erklären, aber die auf sie gegründete Classification der Körper stimmt mit

dem Verhalten derselben recht gut überein und ist sehr geeignet, von den chemischen Gesetzen eine klare Ansicht zu geben.

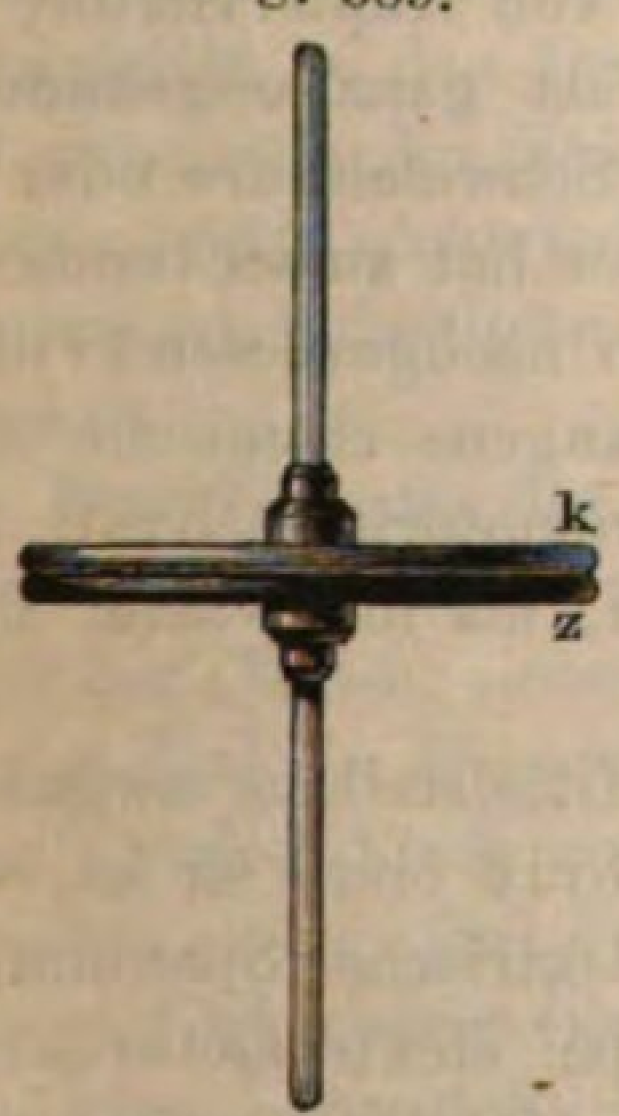
Quelle der galvanischen Elektricität. Nachdem die chemischen Wirkungen des Stromes bekannt und näher untersucht worden waren, nachdem der innige Zusammenhang zwischen Stromleitung und chemischer Zersetzung, so wie die Elektricitätserregung bei der Berührung von Metallen und Flüssigkeiten nachgewiesen war, musste die ursprünglich Volta'sche Contacttheorie, nach welcher nur die Berührungsstelle heterogener Metalle der Sitz der elektromotorischen Kraft ist, aufgegeben oder wesentlich modificirt werden. 122

Die Anhänger der Contacttheorie schlugen den letzteren Weg ein. Sie erweiterten die Volta'sche Theorie dadurch, dass sie neben der Elektricitätserregung durch Metallcontact auch noch eine elektromotorische Kraft an den Berührungsstellen von Metallen und Elektrolyten annahmen, wobei jedoch der wesentliche Unterschied besteht, dass die Metalle dem Gesetze der Spannungsreihe folgen, die Flüssigkeiten aber nicht.

Als Beweis für die Elektricitätserregung durch Metallcontact ohne Dazwischenkunft von Flüssigkeiten führen die Anhänger der Contacttheorie folgende veränderte Form des Fundamentalversuches an.

Eine Zinkplatte und eine Kupferplatte, welche gerade so geformt und mit einem wohl isolirenden Glasstiel versehen sind, wie die obere Platte eines Condensators, deren Oberflächen aber rein metallisch, also nicht gefirnisst sind, werden aufeinander gesetzt, wie Fig. 309 zeigt, indem man die eine, etwa die Zinkplatte, mit der linken Hand ihren Stiel fassend, horizontal hält und dann mit der rechten Hand, alle Reibung vermeidend die Kupferplatte gerade aufsetzt, so dass nun die Kupferfläche mit der Zinkfläche in Berührung steht. Nun wird die Kupferplatte möglichst gerade abgehoben und mit der oberen Condensatorplatte eines Goldblattelektrometers in Berührung gebracht, während man gleichzeitig mit der Zinkplatte des Plattenpaares Fig. 309, die untere Condensatorplatte berührt. Wird dann, nachdem man diese Operation 10- bis 15mal wiederholt hat, die obere Platte des Condensators abgehoben, so erfolgt eine starke Divergenz der Goldblättchen.

Fig. 309.



Wenn man ein empfindliches Goldblattelektrometer hat und die Zinkplatte sowohl wie die Kupferplatte wenigstens 3 Zoll Durchmesser haben, so kann man den Condensator ganz entbehren. Wird die eine der beiden Metallplatten, etwa die Zinkplatte, statt einer Condensatorplatte auf das Elektrometer aufgeschraubt, die Kupferplatte vorsichtig aufgesetzt und dann vertical abgehoben, so er-

folgt eine schwache Divergenz der Goldblättchen, welche verstärkt wird, wenn man die abgehobene Kupferplatte entladet, abermals aufsetzt und abhebt. Wenn man diese Operation 8- bis 10mal wiederholt, so erhält man eine ziemlich bedeutende Divergenz der Goldblättchen.

Dieser Contacttheorie entgegen steht die chemische Theorie der Kette, welche in ihrer schroffen Form von de la Rive, Becquerel, Faraday und den meisten englischen Physikern vertreten wird. Dieser Theorie zufolge ist die Elektricitätsentwickelung in der Kette erst die Folge einer vorhergegangenen chemischen Wirkung, welche die Flüssigkeit der Kette auf das eine Metall ausübt. Auch die elektrische Spannung an den Polen eines einfachen Volta'schen Elementes ist nach dieser Ansicht die Folge einer vorhergegangenen chemischen Einwirkung.

Es ist dies aber entschieden unrichtig, denn man kann in der That Volta'sche Elemente construiren, bei denen vor der Schliessung auch nicht eine Spur chemischer Zersetzung stattfindet, und die nichtsdestoweniger einen Strom liefern, wenn sie geschlossen werden.

Schönbein hat in einem Aufsatze „über die Ursachen der hydroelektrischen Ströme", welcher sich in seinen „Beiträgen zur physikalischen Chemie (Basel 1844)" befindet, mehrere solcher Ketten angeführt. Eine Auflösung von vollkommen neutralem schwefelsauren Zinkoxyd greift z. B. das Zink nicht an; dessen ungeachtet giebt eine Combination von Zink und Kupfer in einer Auflösung von Zinkvitriol einen Strom.

Ein fernerer sehr bedeutsamer Einwurf gegen diejenige Form der chemischen Theorie, welche die Bildung des Stromes von einem vorausgegangenen chemischen Angriffe des einen Metalls der Kette ableitet, ist auch noch der, dass die elektromotorische Kraft einer Kette durchaus nicht der Stärke des chemischen Angriffs proportional ist. Steht in einer Daniell'schen Kette das Kupfer in einer Lösung von Kupfervitriol, so bleibt die elektromotorische Kraft des Apparates fast ganz ungeändert, mag nun das Zink in Wasser oder in verdünnter Schwefelsäure oder in einer neutralen Lösung von Zinkvitriol stehen. Dies hat ausser anderen Physikern auch Svanberg durch genaue Messungen nachgewiesen (Pogg. Annal. Bd. LXXIII, S. 290). Wäre der vorhergegangene chemische Angriff die Quelle des Stromes, so müsste die elektromotorische Kraft bei Anwendung der verdünnten Säure weit grösser sein, als für Wasser und Zinkvitriol.

Schönbein's chemische Theorie nimmt eine Mittelstellung zwischen der Contacttheorie und der chemischen Theorie ein. Er ist, wie auch die Contacttheorie lehrt, der Ansicht, dass ein elektrischer Spannungszustand der Elektrolyse vorhergehe, aber als Sitz der elektromotorischen Kraft lässt er nicht die Berührungsstelle der beiden Metalle, sondern die Berührungsstellen der beiden Metallflächen mit der Flüssigkeit gelten.

Nach Schönbein's Ansicht ist die Elektricitätserregung eines Plattenpaares, welches in eine erregende Flüssigkeit eingetaucht ist, die

Folge der ungleichen chemischen Affinität der Elemente des Elektrolyts zu den beiden Metallplatten. Die elektromotorische Kraft ist sonach auf eine andere Naturkraft, die chemische Affinität, zurückgeführt.

Es ist die Schönbein'sche Theorie der Säule, deren Grundzüge wir bereits in §. 69 kennen gelernt haben. Auch Wiedemann vertritt dieselbe in seiner „Lehre vom Galvanismus" und die Theorie der Säule, wie sie Jamin in seinem „*Cours de Physique*" vorträgt, ist im Wesentlichen dieselbe.

Die einzige Thatsache, welche auf den ersten Anblick nicht mit der Schönbein'schen Theorie vereinbar scheint, ist der Fundamentalversuch in der auf Seite 341 besprochenen Form, welcher jedoch durch die folgende von de la Rive herrührende Erklärung gleichfalls mit der in §. 69 entwickelten Ansicht über den Sitz der elektromotorischen Kraft in Einklang gebracht ist.

Alle metallischen Flächen werden stets mit einer dünnen condensirten Gas- und Feuchtigkeitsschicht umhüllt sein, welche auf dieselben ebenso elektromotorisch wirkt, wie eine Wasserschicht. Eine Zinkplatte wird dadurch negativ elektrisch erregt, während die condensirte Flüssigkeitsschicht eben so stark positiv elektrisch wird. Nach aussen hin kann diese elektrische Vertheilung direct nicht wahrgenommen werden, weil die erregten entgegengesetzten Elektricitäten unmittelbar neben einander gebunden sind.

Setzt man eine solche elektrisch erregte Zinkplatte auf eine Kupferplatte, so berühren sich die Platten, wie gut sie auch abgeschliffen sein mögen, doch nur in einzelnen Punkten, so dass die condensirte Gas- und Feuchtigkeitsschicht die Platten bis auf die wenigen Berührungspunkte trennt.

Da die Kupferplatte durch ihre Feuchtigkeitsschicht weit schwächer negativ erregt wird als die Zinkplatte, so tritt ein Theil der negativen Elektricität an den Berührungspunkten direct auf die Kupferplatte über, und wenn nun die Zinkplatte abgehoben wird, so erweist sich die Kupferplatte negativ elektrisch, während die Zinkplatte mit ihrer Gasschicht die in letzterer befindliche, jetzt zum Theil freigewordene positive Elektricität bewahrt.

Den Vorgang der Elektricitätserregung in einem Volta'schen Elemente hat man sich nach der Schönbein'schen Theorie ungefähr in folgender Weise vorzustellen: Befindet sich eine Platte von chemisch reinem Zink in Wasser, so findet eine „Tendenz zur chemischen Verbindung" und dadurch eine Störung des chemischen und elektrischen Gleichgewichts statt. Das Zink übt eine chemische Anziehung auf den mit negativer Elektricität (vgl. Wiedemann's Galvanismus etc. Thl. I, §. 274) beladenen Sauerstoff des Wassers aus, so dass sich dieser dem Zink zukehrt. Nun wird die positive Elektricität der dem Wasser zunächst liegenden Stellen des Zinks durch die negative des Sauerstoffs gebunden, und die negative Elektricität jener Stellen begiebt sich nach den aus der

Flüssigkeit herausragenden Stellen des Zinks. Der positive Wasserstoff eines mit dem Zink in Berührung stehenden Wassertheilchens ist diesem Metall abgewendet und dadurch wird auch das folgende Wassertheilchen wie das erste gelagert u. s. f., ganz wie wir dies bei der Theorie der Elektrolyse besprochen haben. Eine chemische Verbindung des Sauerstoffs mit dem Zink und eine Abscheidung des Wasserstoffs tritt noch nicht ein, ebensowenig wie eine weitere Bewegung der Elektricitäten. Dieselben haben nur andere statische Gleichgewichtslagen als vor dem Contact des Zinks mit dem Wasser angenommen. Wird nun am Ende der „polarisirten" Wassersäule eine Metallplatte *M* eingesenkt, welche vorläufig gar keine chemische Anziehung gegen das eine oder andere Element des Wassers ausüben möge, so bindet die positive Elektricität des letzten Wasserstoffatoms die negative Elektricität der ihr zunächst liegenden Theilchen des Metalls *M*, und die positive Elektricität desselben begiebt sich nach den aus dem Wasser herausragenden Stellen. Auch jetzt ist noch Alles im statischen Zustande. Verbinden wir aber *M* mit dem Zink, so vereint sich die freie positive Elektricität des ersteren mit der negativen des letzteren, ebenso die positive Elektricität der im Wasser befindlichen Stellen des Zinks mit der negativen des benachbarten Sauerstoffatoms, welches sich zugleich mit dem Zink zu Zinkoxyd verbindet; ferner die positive Elektricität des ersten Wasserstoffatoms mit der negativen des benachbarten Sauerstoffatoms des zweiten Wassertheilchens u. s. w., bis zuletzt die positive Elektricität des letzten Wasserstoffatoms sich mit der negativen der benachbarten Theile des Metalls *M* verbindet, und so der Wasserstoff daselbst im unelektrischen Zustande frei wird. Sogleich lagern sich die neugebildeten Wasseratome durch die Wirkung des Zinks wieder um, und der Process beginnt von Neuem.

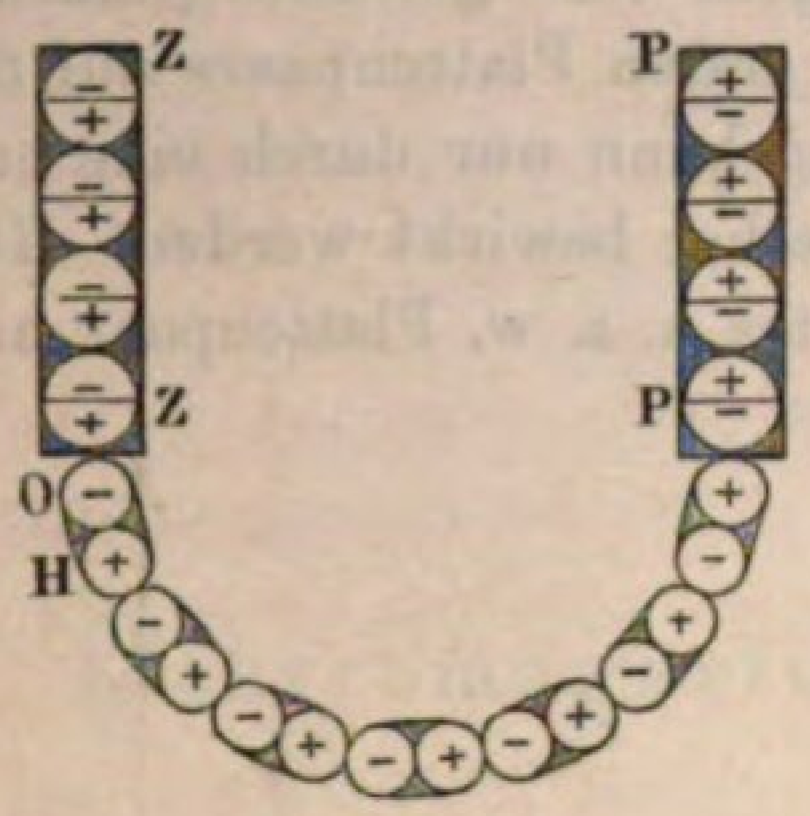
Die eben vorgetragene Anschauung involvirt auch die Lösung eines Widerspruchs, welchem man bei oberflächlicher Betrachtung leicht begegnet.

In einem Voltameter nämlich wird, wie wir in §. 109 gesehen haben, der negativ elektrische Sauerstoff an der positiven Polplatte ausgeschieden, während in jeder einzelnen Zelle der Säule der Sauerstoff zu der Zinkplatte wandert, welche wir in §. 69 als negativ elektrisch kennen gelernt haben. Diese negative Erregung bezieht sich aber nur auf den aus der Flüssigkeit hervorragenden Theil der Zinkplatte oder vielmehr auf die der Berührungsfläche des Wassers abgewendete Seite derselben. Nach der Schönbein'schen Theorie muss man annehmen, dass das Zink in ähnlicher Weise elektrisch polarisirt sei, wie es für den Elektrolyten der Fall ist; es werden also die der Flüssigkeit zugekehrten Seiten der Zinktheilchen positiv, die ihr abgewendeten aber negativ erregt sein, oder mit anderen Worten: wie von der Stelle, wo Zink und Wasser sich unmittelbar berühren, eine inducirende Wirkung durch die Wassertheilchen hindurchgeht, so werden auch alle unter einander zusammenhängenden Zinktheilchen

elektrisch polarisirt und zwar in der Art, dass diejenige Seite eines solchen Theilchens, welches dem Wasser abgewendet ist, negative, die dem Wasser zugekehrte Seite aber positive Polarität zeigt.

Wird der Zinkplatte gegenüber eine Platin- (oder Kupfer-) Platte eingetaucht, so wird die Polarität der Flüssigkeit in der Weise auf dieselbe übertragen, dass die Platinmoleküle ihre negative Seite gegen die Flüssigkeit kehren, wie dies durch die schematische Figur 310 anschaulich gemacht werden soll.

Fig. 310.



Wenn wir das Platin (oder Kupfer, oder Kohle) als das elektronegative, das Zink aber als das elektropositive Metall der Säule bezeichnen, so ist damit die elektrische Polarität der mit dem Elektrolyt in Berührung stehenden Fläche gemeint.

Von rein experimentellem Standpunkte aus mögen die Gründe, welche man für die Schönbein'sche Theorie anführt, nach welcher der Sitz der elektromotorischen Kraft lediglich an der Berührungsstelle des Metalls und des Elektrolyts zu suchen ist, ungefähr denen das Gleichgewicht halten, welche man für die Elektricitätserregung durch Metallcontact aufgestellt hat. Von rein theoretischem Standpunkte aber sind gegen die letztere Ansicht erhebliche Bedenken ausgesprochen worden. Sie postulirt nämlich eine ins Unendliche fortgehende Elektricitätsentwickelung, ohne dass an der Erregungsstelle irgend eine entsprechende Aenderung, irgend eine äquivalente Consumtion stattfindet. In der That sei eine Zinkplatte auf eine Kupferplatte gelegt (oder darauf gelöthet) und die Kupferplatte durch einen Kupferdraht zum Boden abgeleitet, so ist die Spannung ihrer freien Elektricität gleich 0, die der Zinkplatte gleich $+ 2e$. Wird nun die Verbindung der Kupferplatte mit dem Boden aufgehoben und die Zinkplatte durch einen Zinkdraht zum Boden abgeleitet, so wird nach der Theorie des Metallcontacts die freie Ladung der Zinkplatte verschwinden, dagegen eine solche Elektricitätsentwickelung an der Berührungsstelle der Metallplatten stattfinden, dass die freie Ladung der Kupferplatte wieder $- 2e$ wird. So soll also abwechselnd die freie positive und dann wieder die freie negative Elektricität abgeleitet werden können, ähnlich wie bei der geladenen Franklin'schen Tafel, nur mit dem Unterschiede, dass bei der Franklin'schen Tafel die Ladung allmälig erschöpft wird, während man hier annimmt, dass dieselbe durch die an der Berührungsfläche der Metalle thätige elektromotorische Kraft bis ins Unendliche unverändert erhalten, dass jeder Verlust von Elektricität sogleich wieder ersetzt wird, dass also gewissermaassen Elektricität aus Nichts erzeugt werde.

Nach der Schönbein'schen Theorie kann allerdings die elektrische

Spannung an den Polen eines galvanischen Elementes auftreten, bevor noch eine chemische Zersetzung stattgefunden hat; wenn aber den Polen auf irgend eine Weise freie Elektricität entzogen wird, so kann eine Wiederherstellung der Ladung nur durch eine entsprechende Zersetzung des Elektrolyts bewirkt werden. Also schon die vermehrte elektrische Spannung an den Polen einer Volta'schen Säule setzt eine chemische Zersetzung voraus. Wird nämlich die Zinkplatte des ersten Bechers mit der Kupferplatte des zweiten verbunden, so geht eine gewisse Quantität negativer Elektricität von der Zinkplatte des ersten Plattenpaars auf das zweite über und der Ersatz für diesen Abgang kann nur durch eine entsprechende chemische Zersetzung im ersten Becher bewirkt werden. Das Gleiche findet statt, wenn ein drittes, ein viertes u. s. w. Plattenpaar hinzugefügt wird.

Viertes Capitel.

Elektromagnetismus und Elektrodynamik.

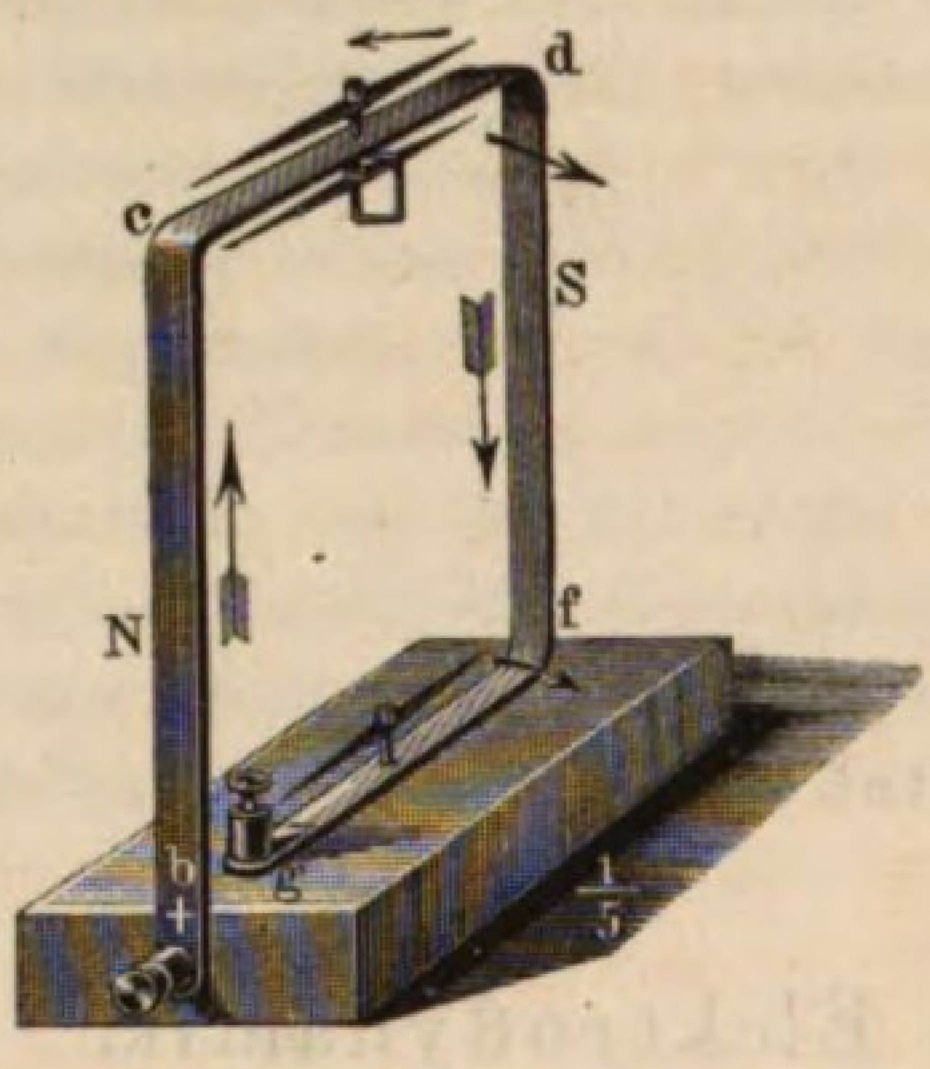
Ablenkung der Magnetnadel durch den galvanischen Strom. Schon lange hatte man die Vermuthung gehegt, dass zwischen Magnetismus und Elektricität eine innige Beziehung stattfinden müsse. Diese Vermuthung wurde durch die Erfahrung unterstützt, dass der magnetische Zustand der Compassnadeln durch Blitzschläge, welche sie getroffen hatten, alterirt worden war. Man versuchte ähnliche Einwirkungen durch den Entladungsschlag von Leydener Flaschen zu erhalten, alle diese Versuche führten aber nicht zu regelmässigen Resultaten. Man begnügte sich mit der Annahme, dass der elektrische Entladungsschlag in ähnlicher Weise auf die Magnetnadel wirke wie der Schlag eines Hammers. 123

Erst im Jahre 1820 machte Oersted, Professor in Kopenhagen, die wichtige Entdeckung, dass der galvanische Strom eine richtende Kraft auf die Magnetnadel ausübe, eine Entdeckung, durch welche ein neues Feld der Elektricitätslehre eröffnet wurde.

Den Oersted'schen Fundamentalversuch über die Einwirkung eines galvanischen Stromes auf die Nadel kann man auf folgende Weise anstellen: ein Streifen Kupferblech wird so gebogen, dass er ein Quadrat bildet, dessen Seiten etwa 8 bis 10 Zoll lang sein können; an den beiden Enden derselben, bei b und g, Fig. 311 (a. f. S.), sind die Schraubklemmen aufgesetzt, in welche die Zuleitungsdrähte für den Strom eingeschraubt werden können. In der Mitte auf dem horizontalen Stücke cd und auf fg ist eine Stahlspitze befestigt, auf welche eine Magnetnadel aufgesetzt werden kann. Ebenso befindet sich eine Stahlspitze, von einem gebogenen Kupferdrahte getragen, unter der Mitte von cd, auf welche ebenfalls eine Magnetnadel aufgesetzt werden kann.

Diese Vorrichtung wird nun so aufgestellt, dass die Ebene des Quadrates in die Ebene des magnetischen Meridians fällt, dass sich also die Magnetnadeln mit *cd* und *fg* parallel stellen. Sobald nun aber ein Strom durch den Apparat hindurch geht, werden die Magnetnadeln abgelenkt und zwar in der durch die ungefiederten Pfeile bezeichneten Richtung, wenn der positive Strom bei *b* ein- und bei *g* austritt und wenn *N* die Nordseite, *S* die Südseite des Apparates bildet.

Fig. 311.



Ampère hat folgende Regel gegeben, um jederzeit die Richtung der Ablenkung zu bestimmen: Man denke sich in den Strom eine kleine menschliche Figur so eingeschaltet, dass der Strom bei den Füssen ein- und am Kopfe austritt; wenn nun diese Figur ihr Gesicht der Nadel zukehrt, so wird der Südpol der Nadel (das Südende) immer nach der rechten Seite dieser Figur hin abgelenkt (der Nordpol also nach der linken Seite).

In dem Stromstücke *cd* liegt die Figur wagerecht, den Kopf nach Süden, die Füsse nach Norden gekehrt. Wird die Nadel über den Strom gehalten, so muss die Figur auf dem Rücken liegen, wenn ihr Gesicht der Nadel zugekehrt sein soll; bei dieser Lage der Figur ist ihre rechte Seite die östliche. Wird die Nadel unter *cd* gehalten, so muss die Figur das Gesicht nach unten kehren, und nun wird ihre rechte Seite die westliche.

Für das Stromstück *gf* sind die Füsse der Figur nach Süden, der Kopf nach Norden gekehrt; wenn die Figur auf dem Rücken liegt, ist also die rechte Seite die westliche.

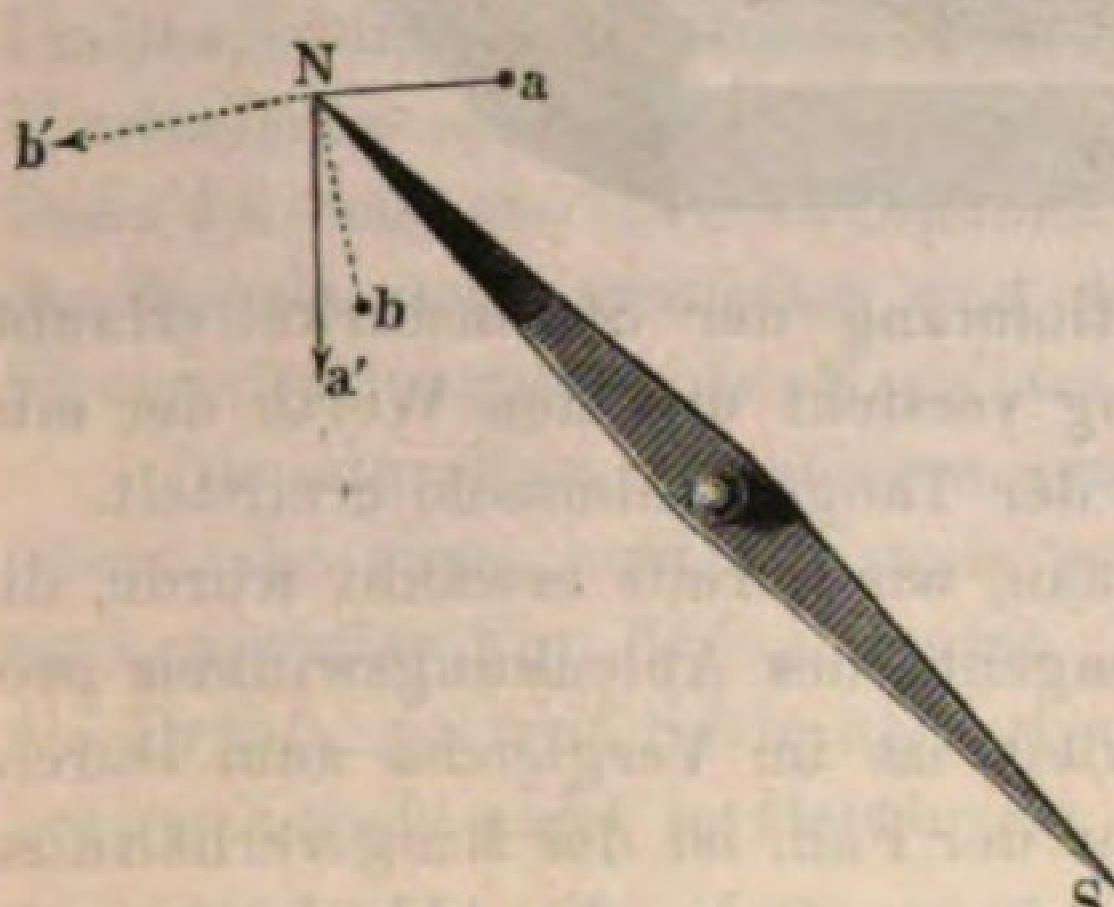
Wenn ein in der Richtung des magnetischen Meridians sich bewegender horizontaler Strom allein auf die Nadel wirkte, so würde sie sich rechtwinklig auf den magnetischen Meridian stellen; ausser dem Strome wirkt aber auch noch der Erdmagnetismus, der die Nadel in den Meridian zurückzudrehen strebt. Unter dem Einflusse dieser beiden Kräfte wird also die Nadel eine Zwischenlage annehmen, sie wird mit dem magnetischen Meridiane einen Winkel machen, der um so grösser wird, sich also einem rechten um so mehr nähert, je grösser die Stromkraft im Vergleiche zur magnetischen Erdkraft ist.

Auch der vertical gerichtete Strom in *bc* und *df* wirkt ablenkend auf die Nadel, und zwar findet man die Richtung der Ablenkung ebenfalls nach der Ampère'schen Regel. Man denke sich nur die vertical stehende Figur dem Nordende zugewendet, so muss sich dieses Nordende nach der Linken drehen. Dabei ist aber nicht zu vergessen, dass für

einen aufsteigenden Strom die Figur auf den Füssen, für einen niedergehenden auf dem Kopfe steht.

Aus dieser Ampère'schen Regel folgt, dass ein und derselbe verticale Strom das Nordende einer Nadel bald anzieht, bald abstösst, je nachdem dieser Pol sich auf der einen oder anderen Seite des Drahtes befindet. In Fig. 312 stelle NS eine horizontale Nadel, von oben gesehen, dar; N sei das Nordende der Nadel, a sei ein verticaler Draht, der natürlich, von oben gesehen, als Punkt verkürzt erscheint. Geht nun ein positiver Strom von unten nach oben durch den Draht, so hat man sich die Figur aufrecht zu denken; wenn aber diese aufrechte Figur nach N hinschaut und der Pol N in Beziehung auf diese Figur nach der Linken gedreht wird, also so wie es der Pfeil a' andeutet, so wird die Nadel offenbar von dem Drahte abgestossen. Befände sich aber der Draht in b, so würde bei aufsteigendem Strome die Nadel offenbar einen Impuls in der Richtung des Pfeiles b' erhalten, also dem Drahte genähert werden.

Fig. 312.



Stellt man die Wirkungen zusammen, welche die Stromstücke bc, cd, df, fg, Fig. 311 auf eine Nadel ausüben, die sich innerhalb des Raumes $bcdfg$ befindet, so ergiebt sich, dass alle die Nadel in gleichem Sinne abzulenken streben, und zwar lässt sich für diesen Fall die aus der Ampère'schen Regel sich ergebende Ablenkungsrichtung ganz einfach in der Weise ausdrücken, wie es bereits oben Seite 233 geschehen ist, dass das Südende der Nadel nach der Seite hin abgelenkt wird, von welcher aus betrachtet der positive Strom die Nadel in der Richtung umkreist, in welcher sich der Zeiger einer Uhr bewegt.

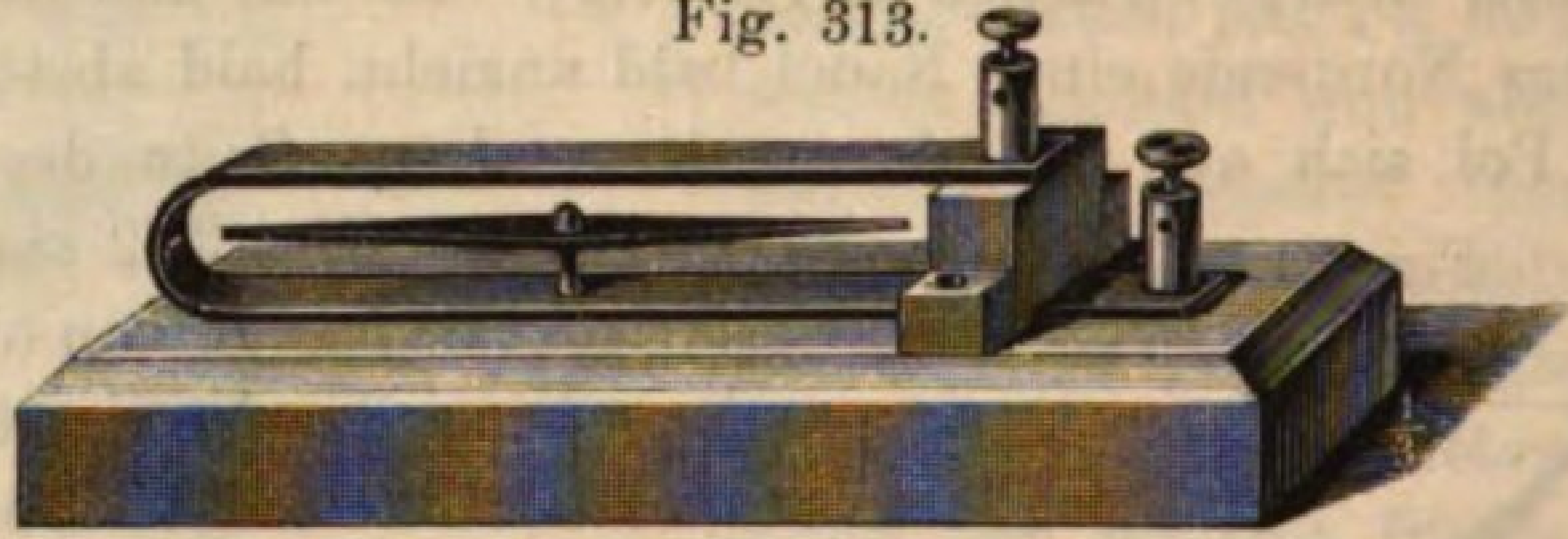
Bringt man die Nadel über das Stromstück cd, so wird das Nordende derselben nach derselben Seite hin abgelenkt, wie das Südende einer Nadel, welche sich innerhalb des Stromkreises befindet.

Rheoskope und Rheometer. Die eben besprochene Wirkung 124
des galvanischen Stromes, eine benachbarte Magnetnadel aus ihrer Gleichgewichtslage abzulenken, dient nicht allein dazu, um den Strom nachzuweisen, sondern auch, um seine Richtung zu bestimmen und seine Stärke zu messen. Wir haben bereits Seite 230 ein namentlich zu dem letzteren Zwecke construirtes Instrument kennen gelernt, nämlich die Tangentenbussole.

Wenn es sich nicht um genauere Messung, sondern um Nachweis der Ströme überhaupt und um Ermittelung der Stromesrichtung handelt, so

ist ein Apparat der in Fig. 313 dargestellten Art zweckmässig, welcher auch schon für etwas schwächere Ströme merkliche Ausschläge giebt, und

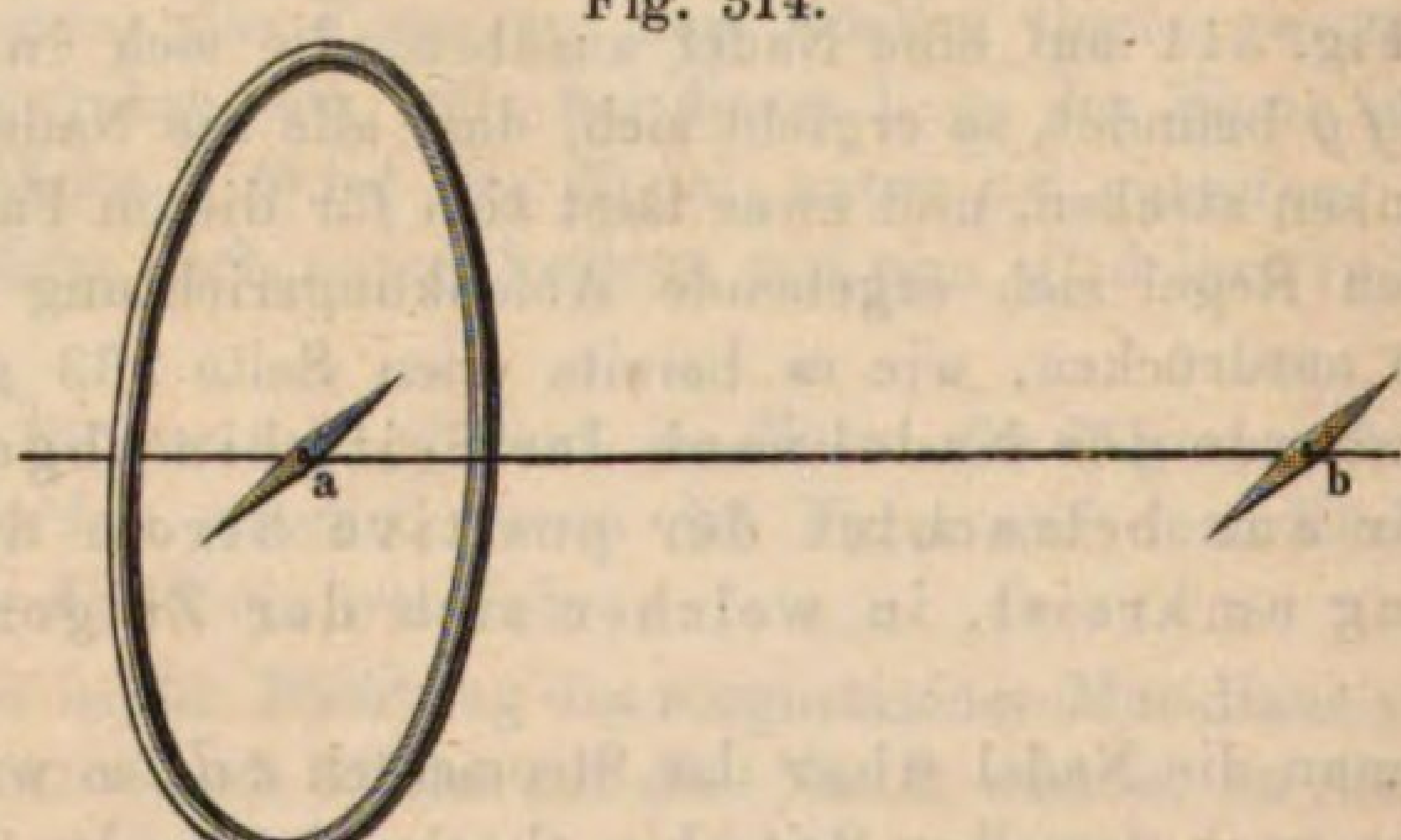
Fig. 313.



welcher selbst eine annähernde Bestimmung der Stromstärke erlaubt, wenn man ihn mit einer Gradtheilung versieht und den Werth der einzelnen Grade durch Vergleichung mit der Tangentenbussole ermittelt.

Bei der Tangentenbussole kann man, wie bereits erwähnt wurde, die Stromstärke nur so lange als der Tangente des Ablenkungswinkels proportional annehmen, als die Nadel klein ist im Vergleiche zum Durchmesser des Ringes. Ist dies nicht mehr der Fall, ist der Ring verhältnissmässig eng, so wird bei zunehmender Stromstärke die Ablenkung mehr und mehr gegen diejenige zurückbleiben, welche man nach dem Gesetze der Tangenten erwarten sollte, weil ja bei wachsender Ablenkung die beiden Nadelspitzen sich merklich weiter vom Kreisstrome entfernen. Wird aber nun die Nadel aus dem Mittelpunkte a, Fig. 314, des Ringes herausgebracht, indem man sie auf der Axe des Kreisstromes zur Seite schiebt,

Fig. 314.



so wird die Tangente des Ablenkungswinkels, wenn der Abstand der Nadel von der Ebene des Ringes etwas bedeutend geworden ist, wenn sich z. B. die Nadel in b befindet, in einem rascheren Verhältniss wachsen als die Stromstärke; denn wenn die Nadel aus dem magnetischen Meridian abgelenkt wird, so nähert sich das eine Ende derselben dem Ringe, während das andere sich von demselben entfernt, dabei aber nimmt die Einwirkung des Ringes auf das genäherte Ende in rascherem Verhältniss zu, als sie auf das entfernte abnimmt.

Da nun aber die durch den Strom bewirkte Ablenkung der Nadel stets etwas zu gross ausfällt, wenn sie sich in b befindet, während sie zu klein bleibt, wenn sie den Mittelpunkt a des Kreisstromes einnimmt, so

muss es zwischen *a* und *b* eine Stellung für die Nadel geben, für welche in der That die Tangente des Ablenkungswinkels der Stromstärke stets proportional ist und Gaugain hat gezeigt, dass dies der Fall ist: wenn der Abstand des Mittelpunktes der Nadel vom Mittelpunkte *a* des Kreisstromes $^1/_4$ des Ringdurchmessers beträgt.

Will man eine Gaugain'sche Tangentenbussole mit mehreren Drahtwindungen construiren, so müssen dieselben sämmtlich auf der Mantelfläche eines Kegels liegen, dessen Höhe *rs*, Fig. 315, $^1/_4$ seiner Basis *tu* beträgt. Der Drehpunkt der Nadel muss dann mit der Spitze *s* des Kegels zusammenfallen und die Ebene der Kegelbasis muss in der Ebene des magnetischen Meridians eingestellt werden.

Die einzelnen Drahtlagen sind in Rinnen eingelegt, welche in die Oberfläche eines hohlen Kegels von Holz oder von Metall eingeschnitten sind, wie dies Fig. 315 andeutet. Ist dieser Conus von Metall, so müssen die Drähte gut mit Seide übersponnen sein, damit sie mit der Masse des hohlen Kegels nicht in Berührung kommen.

Fig. 315.

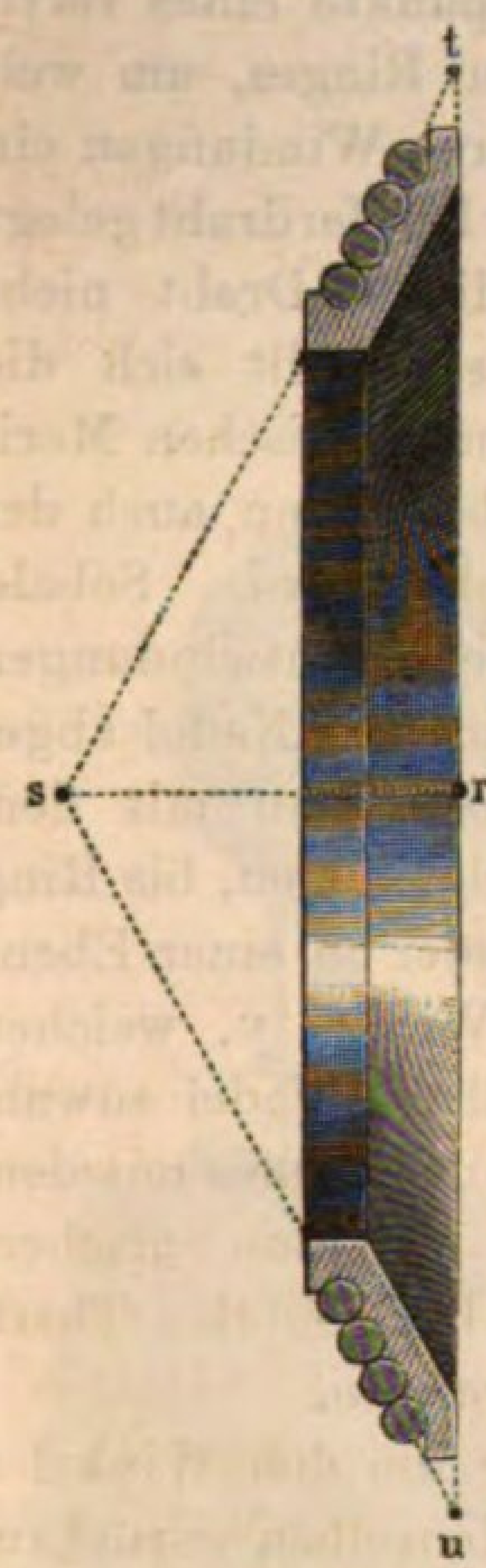


Fig. 316.

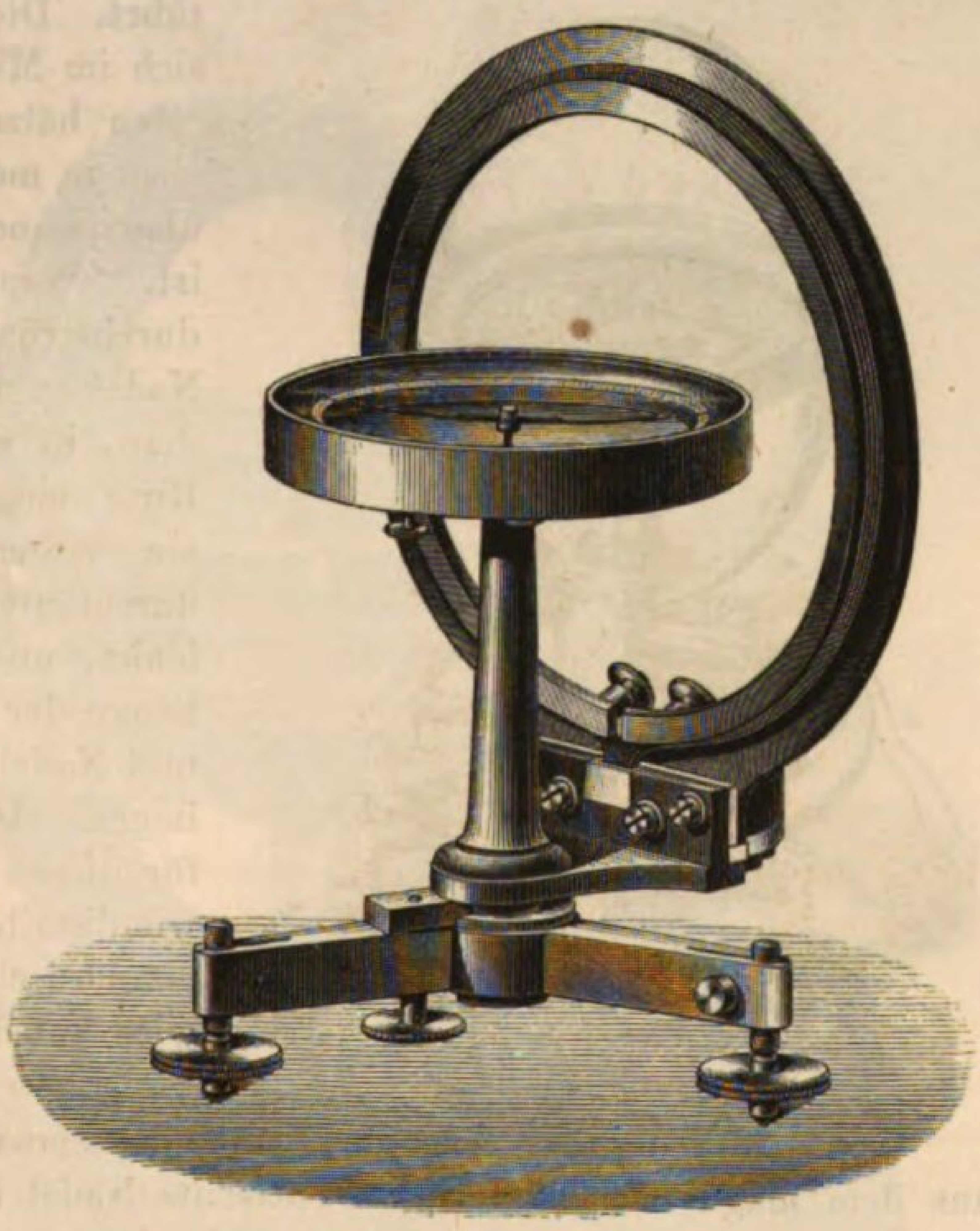


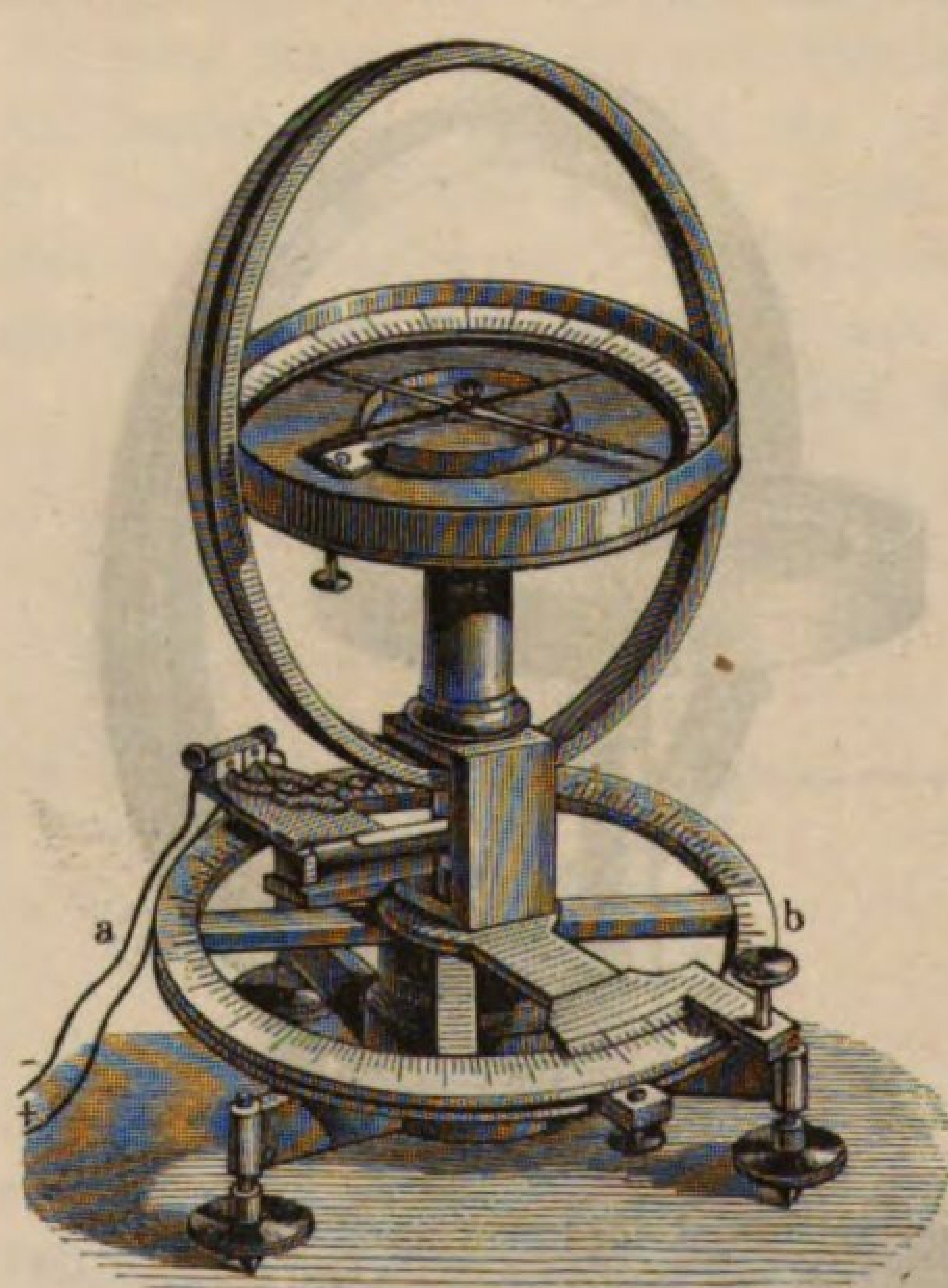
Fig. 316 stellt eine von Siemens und Halske construirte Gaugain'sche Tangentenbussole dar. Der conische Ring, auf welchem die 4 Drähte aufgewunden sind, ist von Messing. Jeder der 4 Drähte ist von der Masse des Messingringes, sowie von den anderen Drähten isolirt und

endet mit zwei Klemmschrauben, so dass man nach Belieben den Strom nur durch einen oder durch mehrere Drahtringe kann gehen lassen, und zwar so, dass die 4 Drahtringe entweder einen einzigen von 4fachem Querschnitt repräsentiren oder, dass sie einen Draht von einfachem Durchmesser darstellen, der in 4 Windungen um den Messingring gelegt ist, oder mit anderen Worten, dass man sie neben- oder hintereinander combiniren kann.

Ausserdem aber ist der conische Messingring selbst, welcher zum Aufwinden der Drähte dient, unten aufgeschlitzt und jedes Ende mit einer Klemmschraube versehen, so dass dieser Ring selbst als stromleitender Kreis benutzt werden kann.

Denken wir uns den Ring der Weber'schen Tangentenbussole um seine verticale Axe drehbar, so ist es möglich, der aus dem magnetischen Meridian abgelenkten Nadel in der Weise zu folgen, dass die Nadel stets in der Ebene des Ringes bleibt. Fig. 317 stellt ein nach diesem Princip construirtes Instrument dar, welches den Namen Sinusbussole führt. Die Magnetnadel befindet sich im Mittelpunkte eines verticalen hölzernen Ringes, um welchen in mehreren Windungen ein übersponnener Kupferdraht gelegt ist. Wenn dieser Draht nicht durchströmt ist, stellt sich die Nadel in den magnetischen Meridian, in welchen dann auch der Ring eingestellt wird. Sobald ein Strom die Drahtwindungen durchläuft, wird die Nadel abgelenkt, und man kann mit dem Ringe der Nadel folgen, bis Ring und Nadel wieder in einer Ebene liegen. Der Winkel v, welchen für diesen Fall die Nadel sowohl wie die Ebene des Ringes mit dem magnetischen Meridian machen, wird auf dem horizontalen Theilkreise ab abgelesen.

Fig. 317.



Die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus die um den Winkel v aus dem magnetischen Meridian entfernte Nadel in denselben zurückzuführen strebt, ist $R\ sin.\ v$ (siehe §. 19). Wenn wir nun die Kraft, mit welcher der Kreisstrom die in seiner Verticalebene liegende Nadel aus derselben herauszudrehen strebt, mit S bezeichnen, so haben wir für den Fall des Gleichgewichts in dem Fig. 317 dargestellten Instrumente

$$S = R\ sin.\ v,$$

die Stromstärke ist also, wenn die Nadel stets in der Verticalebene des Kreisstromes bleibt, dem **Sinus des Ablenkungswinkels proportional**, weshalb dieses Instrument den Namen der **Sinusbussole** führt.

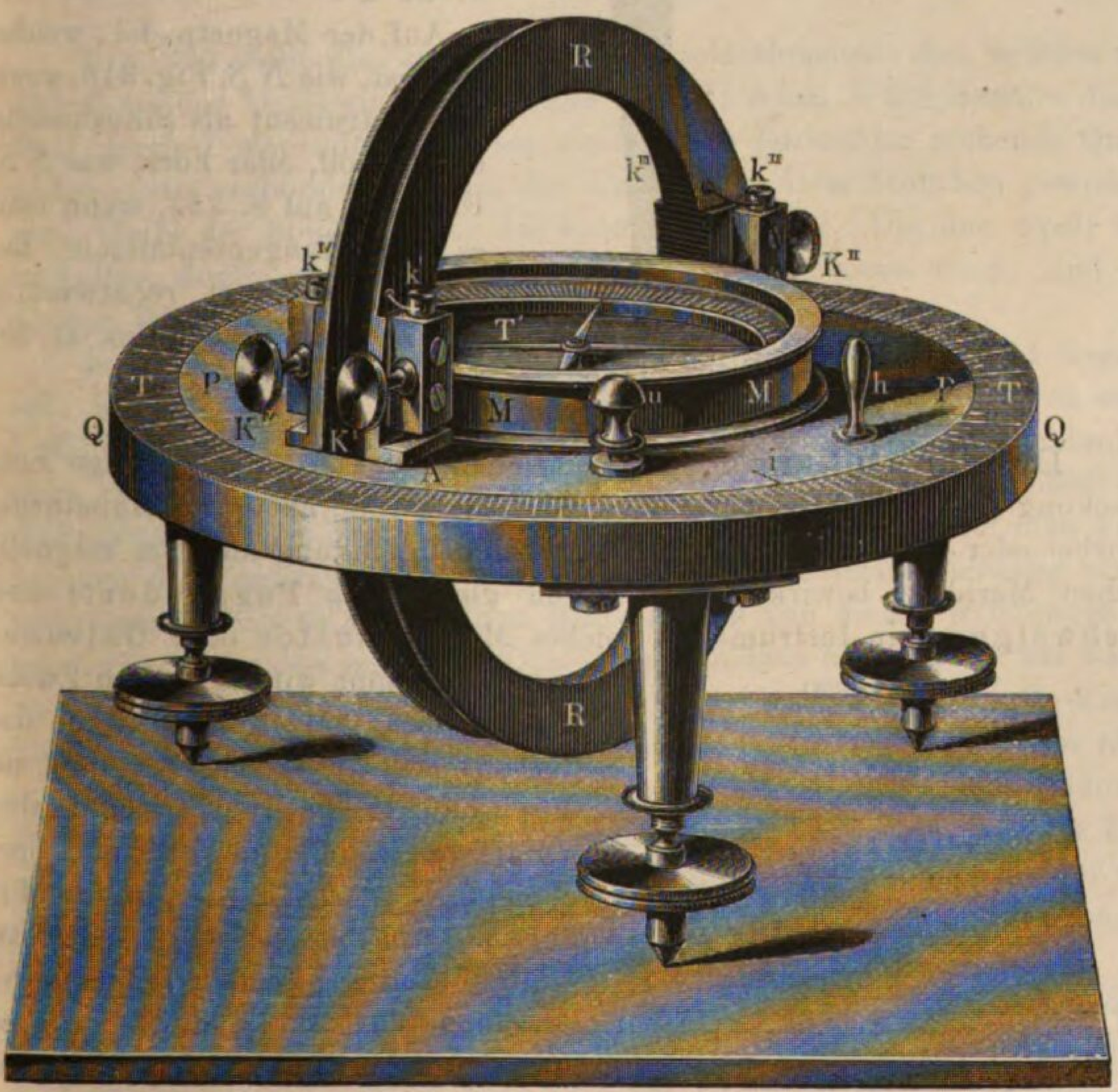
Jede Sinusbussole kann auch als Tangentenbussole gebraucht werden, wenn man den Kreisstrom in der Ebene des magnetischen Meridians feststellt.

Es ist klar, dass die Stärke des Magnetismus der Nadel keinen Einfluss auf die Grösse der Ablenkung hat, denn wenn die Nadel stärker magnetisch wäre, so würde die Einwirkung des Stromes und die des Erdmagnetismus auf die Nadel in gleichem Verhältniss zunehmen.

Die Sinusbussole ist zwar für schwache Ströme empfindlicher, dagegen aber auch bei Weitem nicht so bequem zum Gebrauch, wie die Tangentenbussole, welche unter den bis jetzt bekannten Rheometern in den meisten Fällen das praktischste ist.

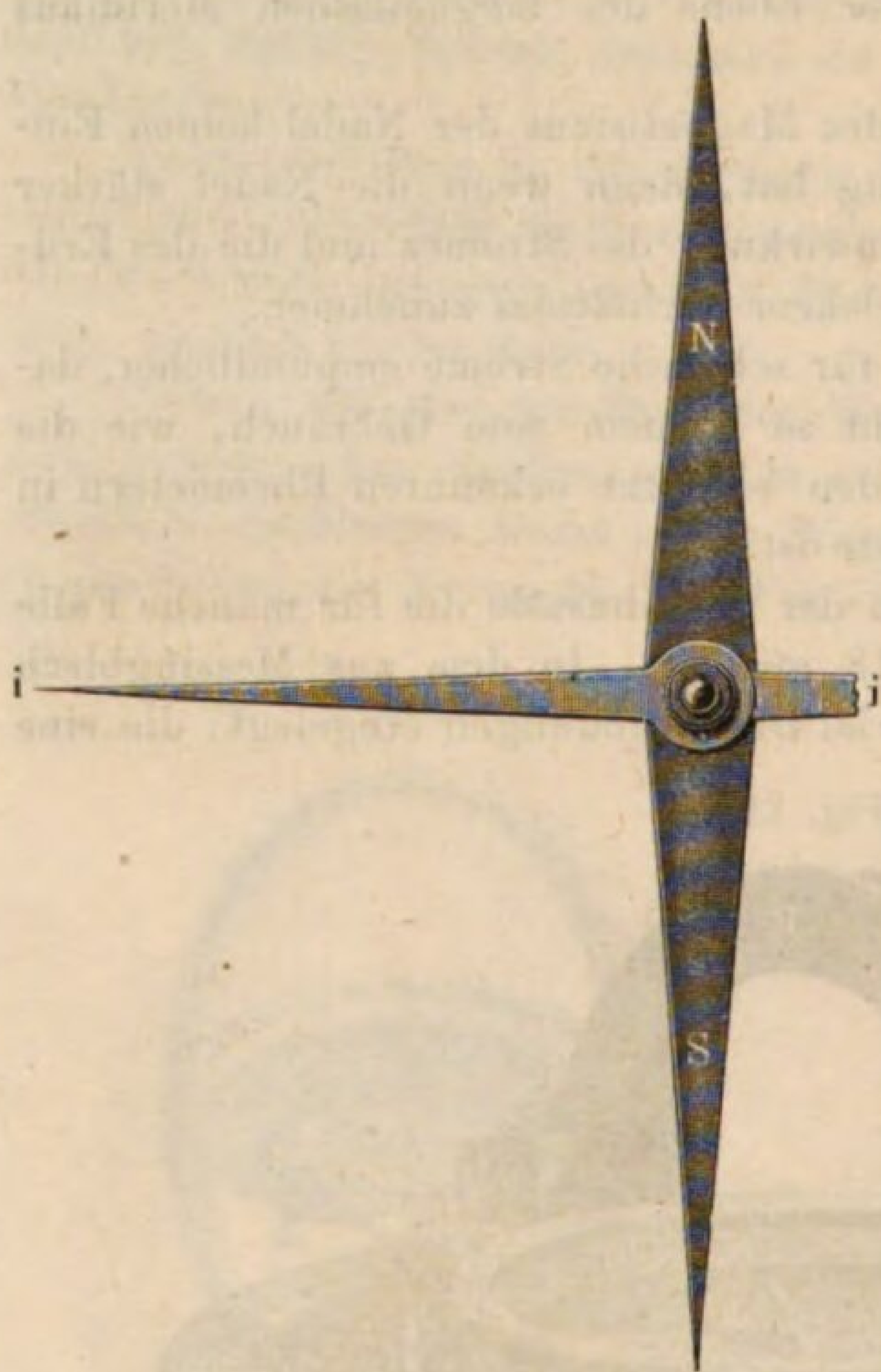
Siemens und Halske haben der Sinusbussole die für manche Fälle sehr zweckmässige Form Fig. 318 gegeben. In dem aus Messingblech verfertigten Rahmen R sind zweierlei Drahtwindungen eingelegt; die eine

Fig. 318.



Abtheilung besteht aus einem 1,34^{mm} dicken Drahte, welcher mit 16 Windungen in den Rahmen *R* eingelegt ist und dessen Enden mit den Klammern K^{I} und K^{IV} verbunden sind. Ausser diesem ist dann noch ein dünnerer ungefähr 0,25^{mm} dicker Draht mit ungefähr 1000 Windungen in den Rahmen eingelegt und seine Enden sind an den Klammern K^{II} und K^{III} befestigt.

Fig. 319.

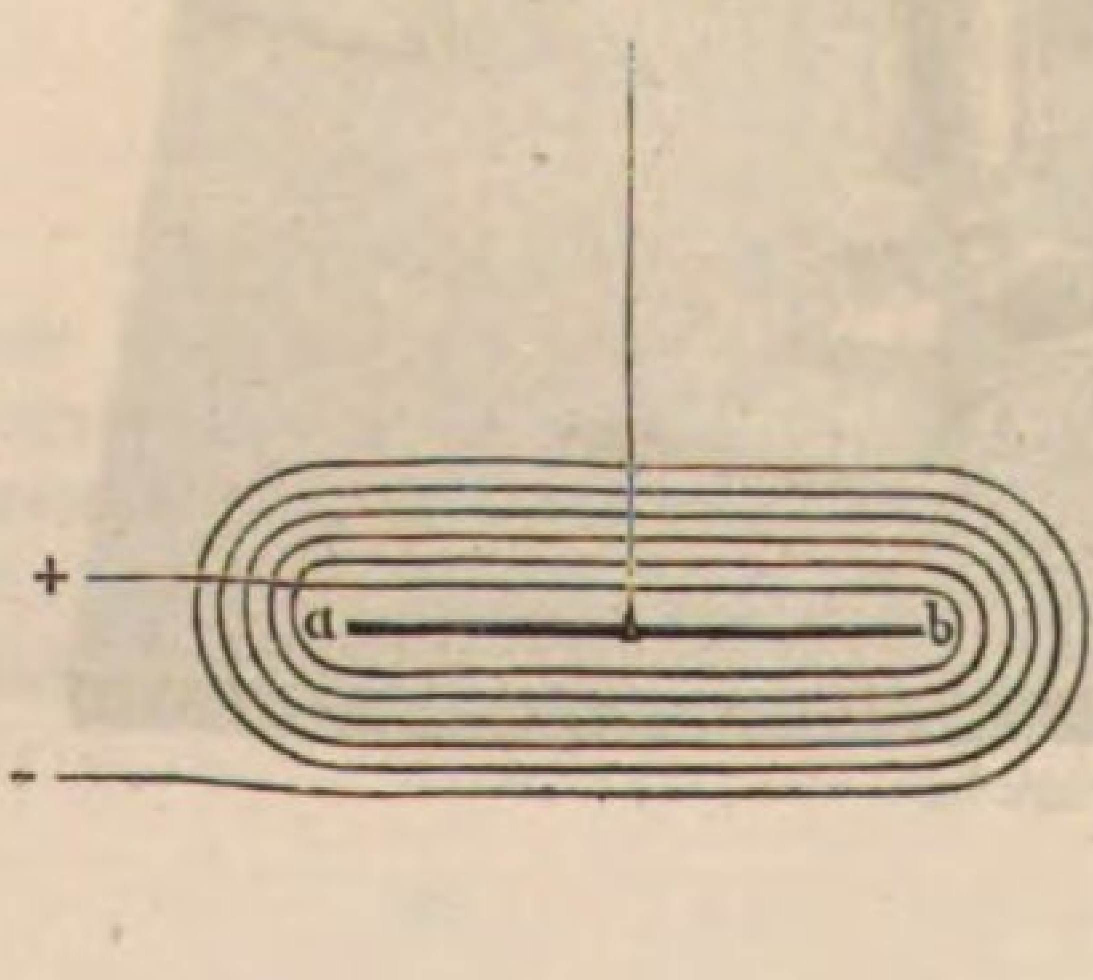


Der Kreisrahmen *R* ist in die kreisrunde Messingplatte *P* eingesetzt, welche in die den Theilkreis *T* tragende Platte *Q* konisch eingedreht ist und in derselben durch die Elfenbeinknöpfe *h* gedreht werden kann. Auf derselben Platte steht die Bussole *M* mit dem Theilkreise *T'*.

Auf der Magnetnadel, welche lang ist, wie *NS*, Fig. 319, wenn das Instrument als Sinusbussole dienen soll, oder kurz, wie *NS*, Fig. 249 auf S. 232, wenn man es als Tangentenbussole benutzen will, ist rechtwinklig zur Nadelaxe der Index *ii* befestigt.

125 **Der Multiplicator.** Kurz nachdem Oersted die wichtige Entdeckung gemacht hatte, dass der elektrische Strom, an einer Magnetnadel vorbei oder um dieselbe herumgeführt, eine Ablenkung aus dem magnetischen Meridian bewirke, construirten gleichzeitig Poggendorff und Schweigger ein Instrument, welches Multiplicator oder Galvanometer genannt wird und den Zweck hat, schwache galvanische Ströme dadurch merklich zu machen, dass sie durch eine grosse Anzahl von Drahtwindungen vielmal um die Nadel herumgeführt werden, wie dies in Figur 320 schematisch angedeutet ist.

Fig. 320.



Damit die Nadel möglichst frei beweglich sei, ist sie nicht auf eine Spitze gesetzt, sondern an einem Coconfaden aufgehängt.

In §. 124 sind bereits Tangenten- und Sinusbussolen besprochen, bei denen das Princip des Multiplicators in Anwendung gebracht worden ist.

Nobili hat den Multiplicator dadurch bedeutend empfindlicher gemacht, dass er statt der einfachen Nadel ein astatisches Nadelpaar anwandte, dessen Einrichtung wir schon oben Seite 26 kennen lernten. Fig. 321 erläutert die Anordnung des Nobili'schen Multiplicators. Während das Nadelpaar nur mit geringer Kraft durch den Erdmagnetismus gerichtet wird, summirt sich die Wirkung des Stromes auf beide Nadeln, denn indem die eine Nadel innerhalb der Windungen, die andere über denselben hängt, werden beide Nadeln nach gleicher Richtung durch den Strom abgelenkt.

Fig. 321.

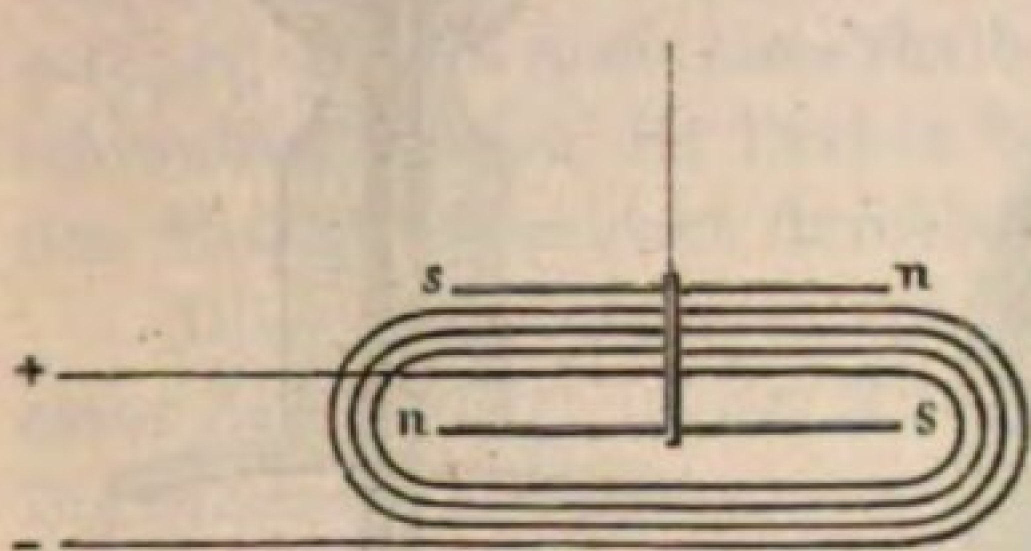


Fig. 322.

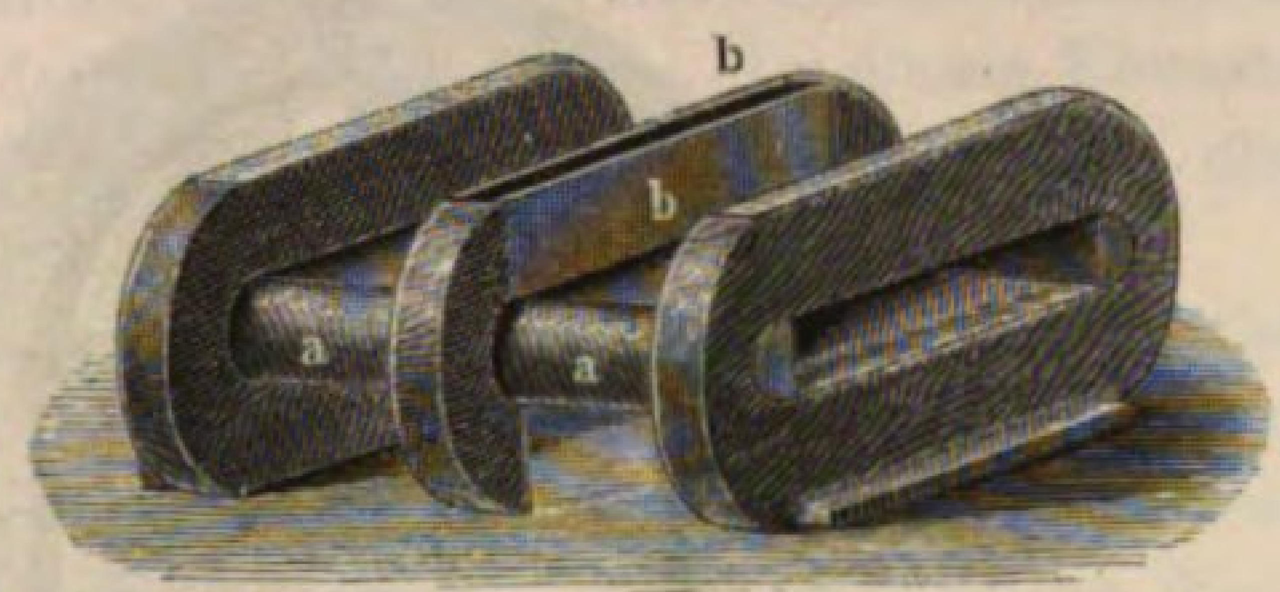


Fig. 322 stellt die Einrichtung eines Holzrähmchens dar, welches zur Aufnahme der Drahtwindungen eines Nobili'schen Multiplicators dient. Zwei vertical stehende Brettchen sind durch horizontal stehende Querstäbchen *aa* verbunden. Indem der Draht über diese Stäbchen gewickelt wird, bleibt der Spielraum für die untere Nadel frei. Um den Spalt frei zu halten, durch welchen die untere Nadel hinabgelassen wird, sind die dünnen Brettchen oder Messingblättchen *b b* angebracht.

Je nach dem Zwecke, zu welchem der Multiplicator gebraucht werden soll, hat er weniger, 50 bis 100 Windungen eines Drahtes von nahe 1 Millimeter Durchmesser, oder sehr viele, 3000 bis 25000 Windungen eines möglichst dünnen Drahtes. Im ersteren Falle brauchen natürlich die Seitenwände des Rähmchens nur ganz niedrig zu sein, und man kann dagegen den Spielraum für die untere Nadel in verticaler Richtung etwas vergrössern. Gilt es aber, einen Multiplicator von vielen Windungen zu construiren, so muss man die Wände des Rahmens hoch, und, um Raum zu ersparen, den Spielraum für die untere Nadel niedrig machen. In diesem Falle wird man wohlthun, den Spielraum für die untere Nadel von oben und unten und den verticalen Spalt von beiden Seiten mit ganz dünnen Brettchen oder noch besser mit Metallplatten zu bedecken, um das Eindringen der Drahtwindungen in diese Räume oder das Hineinragen von Seidenfasern zu verhindern. Bei Multiplicatoren von wenig Windungen ist diese Vorsichtsmaassregel unnöthig.

Bei Multiplicatoren von vielen Windungen muss natürlich die Entfernung der beiden Nadeln grösser sein, als bei solchen von wenig Windungen.

Die Gesammteinrichtung des Multiplicators ist aus Fig. 323 zu ersehen, welche ein derartiges Instrument von vielen Windungen darstellt. Das astatische Nadelpaar hängt an einem einfachen Seidenfaden, einem sogenannten Coconfaden. Um es nach Belieben heben oder senken zu können, dient eine Vorrichtung, welche in Fig. 324 in natürlicher Grösse dargestellt ist. Der Faden ist an einem Häkchen befestigt, welches das

Fig. 323.

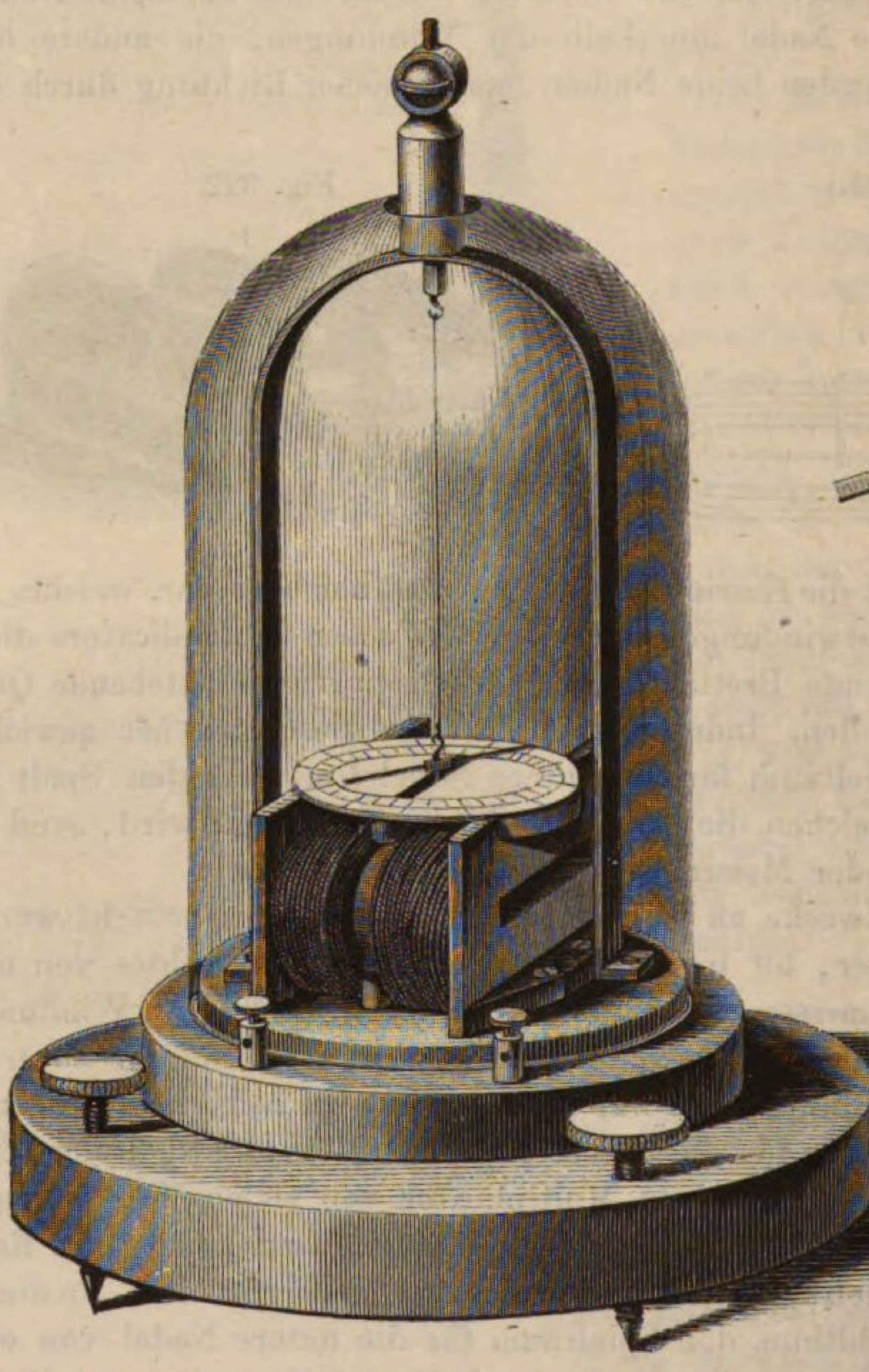
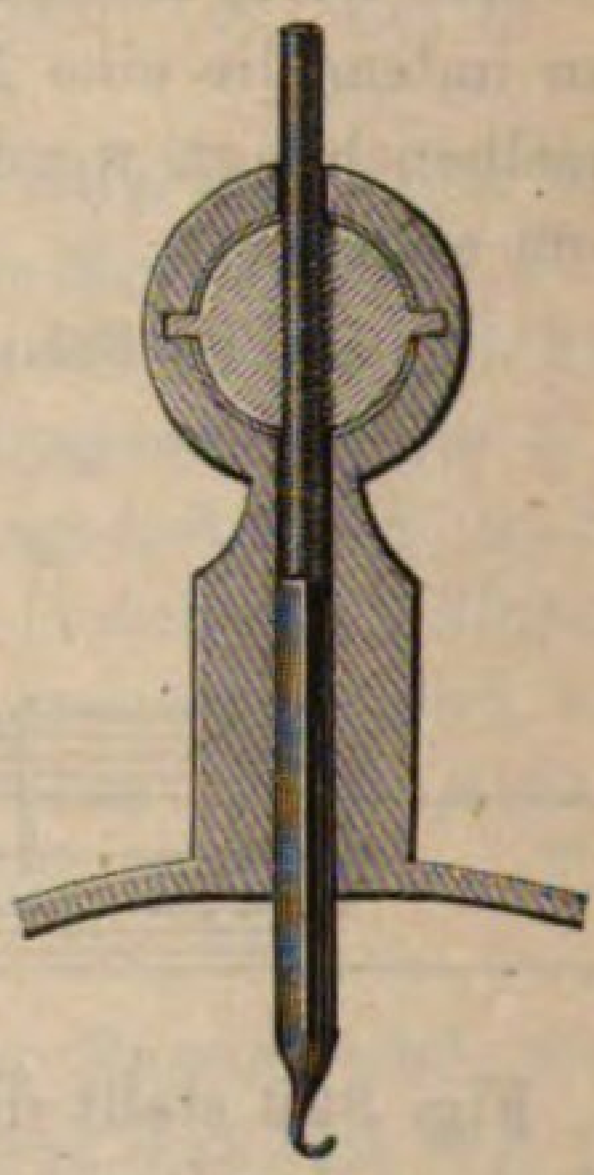


Fig. 324.



untere Ende eines vierseitigen Stäbchens bildet. Dieses Stäbchen passt in eine gleichfalls vierseitige Oeffnung des Messingsäulchens, welches in der Mitte des die ganze Vorrichtung tragenden Bügels sitzt; oben endet es mit einer Schraube, welche durch eine aussen kugelförmige Mutter hindurchgeht. Diese Kugel ist durch einen sie umfassenden Ring an ihrer Stelle festgehalten; wenn man sie also umdreht, so muss nothwendig die Schraubenspindel und mit ihr das vierseitige Stäbchen sammt dem Faden gehoben oder gesenkt werden, je nach der Richtung, nach welcher man

dreht. — Zwischen der oberen Nadel und den Windungen befindet sich ein getheilter Kreis, auf welchen man die Ablenkungen ablesen kann. In der Richtung der Nulllinie, den Drahtwindungen parallel, ist aus dem etwa aus starkem Kartenpapier verfertigten Theilkreise ein Spalt ausgeschnitten, der sich gerade über der von den Drahtwindungen freigelassenen Spalte befindet.

Um zu verhindern, dass die Nadel durch zu starke Ströme ganz herumgeworfen werden kann, sind 90° rechts und links von der Nulllinie Stiftchen angebracht, gegen welche die Nadel anschlägt. Du Bois hat diese Stiftchen durch ganz dünne elastische Glimmerblättchen ersetzt.

Um den Luftzug abzuhalten, ist über das Ganze eine Glasglocke gestellt. Die Enden des Multiplicatordrahtes sind in zwei Klemmschrauben geführt, welche noch ausserhalb der Glasglocke stehen. In diesen Klemmschrauben werden die Drähte befestigt, welche den Strom zuführen, der den Multiplicatordraht durchlaufen soll.

Dies Alles befindet sich auf einem runden Brette, welches mittelst eines Zapfens, der in der Mitte einer zweiten Scheibe von noch grösserem Durchmesser steckt, um seine verticale Axe umgedreht werden kann, wodurch es möglich wird, das Ganze so zu drehen, dass die Ebene der Windungen der Gleichgewichtslage des Nadelpaares parallel wird, dass also die obere Nadel auf den Nullpunkt der Theilung zeigt.

Fig. 325.

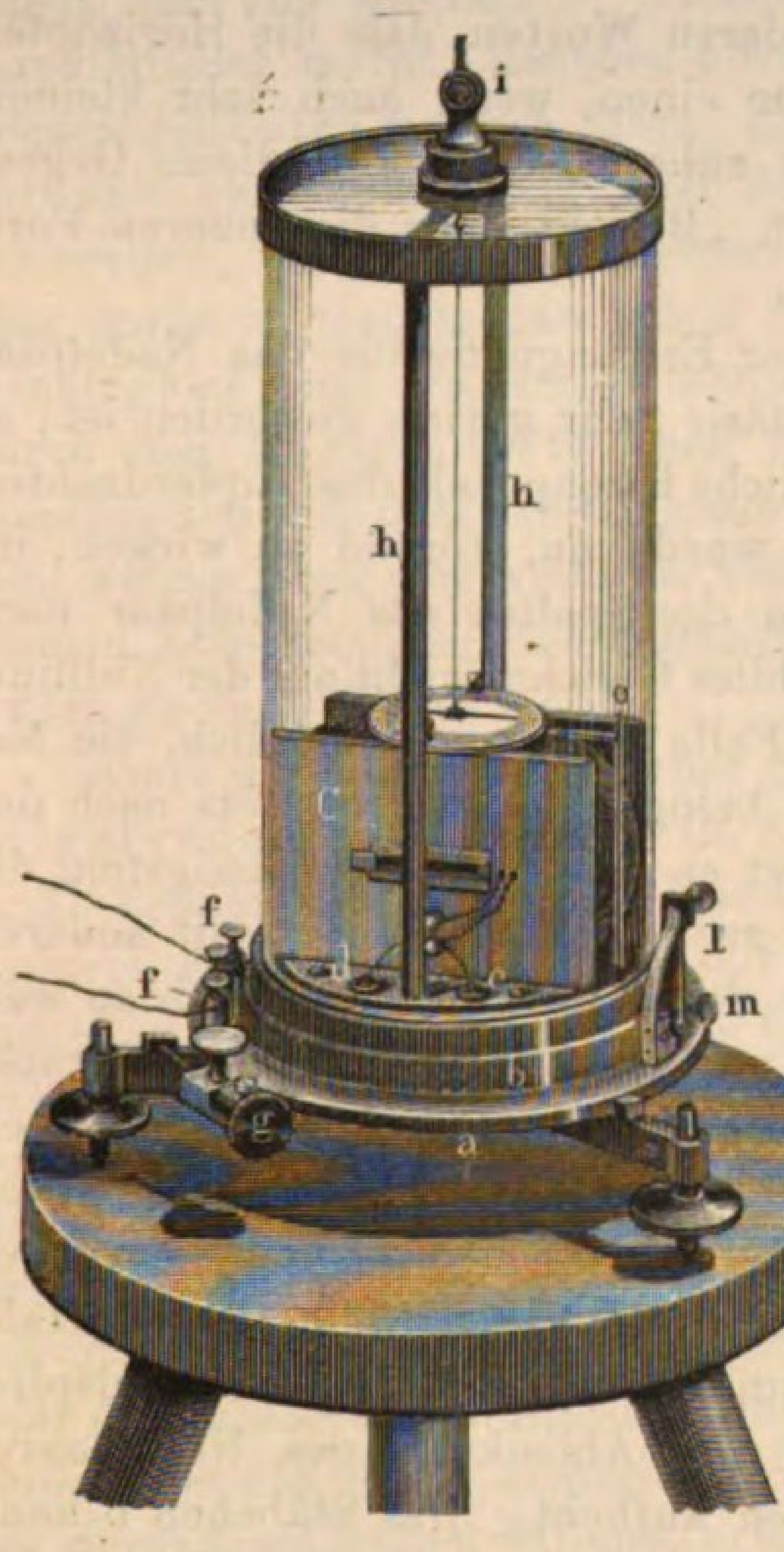


Fig. 325 stellt einen andern, nach den Angaben von Du Bois construirten Multiplicator von 20000 bis 30000 Windungen dar, wie er zu Versuchen über thierische Elektricität angewendet wird. Das Verbindungsstück der beiden Nadeln des astatischen Systems ist bei diesem Multiplicator aus Schildpatt oder Elfenbein verfertigt.

In welchen Fällen Multiplicatoren mit vielen, in welchen Fällen solche mit wenig Windungen anzuwenden sind, kann erst weiter unten erörtert werden.

Die Ablenkung der Nadeln aus ihrer Gleichgewichtslage wächst natürlich mit der Stromstärke, doch ist die Beziehung zwischen dem Ablenkungswin-

kel und der Stromstärke so complicirt, dass sie sich nicht allgemein aus theoretischen Betrachtungen, sondern nur für jedes specielle Instrument auf empirischem Wege ermitteln lässt. Im Allgemeinen aber wird der Multiplicator doch mehr als empfindliches Rheoskop und nur selten als Rheometer gebraucht.

Die Empfindlichkeit des Multiplicators wächst natürlich in dem Maasse, in welchem sich das Nadelpaar mehr und mehr der vollkommenen Astasie nähert. Die zunehmende Astasie hat nun aber einige Erscheinungen im Gefolge, ohne deren Kenntniss die Behandlung empfindlicher Multiplicatoren höchst schwierig wird. Wir wollen sie hier nur kurz anführen.

Zunächst sieht man, dass ein astatisches Nadelpaar sich nicht mehr in den magnetischen Meridian einstellt, sondern dass es bei wachsender Astasie einen immer grösseren Winkel mit demselben macht, um endlich nahezu rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian zu stehen.

Dieser Umstand beeinträchtigt die Brauchbarkeit des Instrumentes durchaus nicht, man hat nur den Apparat um seine verticale Axe so zu drehen, dass die obere Nadel auf dem Nullpunkte einsteht, dass also die Ebene der Windungen mit der Ebene der Nadeln parallel ist. Den Grund dieser anfangs auffallenden Erscheinung hat schon Nobili richtig darin erkannt, dass die beiden Nadeln doch nie absolut genau in eine und dieselbe Verticalebene fallen oder, mit anderen Worten, dass die Horizontalprojectionen der beiden Nadeln immer einen, wenn auch sehr kleinen, Winkel mit einander bilden. Was die nähere Erörterung dieses Gegenstandes betrifft, so muss ich auf meinen „Bericht über die neueren Fortschritte der Physik, S. 782" verweisen.

Wenn die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus das Nadelpaar richtet, in Folge der vollkommenen Astasie sehr gering geworden ist, so fängt der unbedeutende fast unvermeidliche Eisengehalt des Kupferdrahtes, welcher zu den Windungen verwendet wurde, an, störend zu wirken, indem die Drahtmassen zu beiden Seiten des Spaltes das Nadelpaar nach beiden Seiten hinziehen und so ein stabiles Gleichgewicht auf der Nulllinie unmöglich machen. In einem solchen Falle ist es nicht möglich, die Nadel auf der Nulllinie zum Einstehen zu bringen, sie weicht stets nach der einen oder anderen Seite ab. — Hier ist es nun am zweckmässigsten, die Astasie des Nadelpaares gerade so weit zu beschränken oder, mit anderen Worten, die richtende Kraft der Erde durch andere Mittel noch so weit zu unterstützen, dass das Nadelpaar nur eben in der Nulllinie zurückgehalten wird. Du Bois hat dies bei seinem in Fig. 325 dargestellten Multiplicator auf folgende Weise erreicht. Dem Nullpunkte der Theilung gegenüber befindet sich ein verticales Messingstäbchen o mit einem gegen die Nadel gerichteten horizontalen Arm, an dessen Ende ein ungefähr 0,5 Millimeter langes, gut gehärtetes und stark magnetisirtes Stahlspitzchen befestigt ist, dessen Zug gerade die Ablenkung des Nadelpaares durch den Magnetismus der Windungen aufhebt. Das Stäbchen o kann durch die ausserhalb der Glocke angebrachten Schrauben l und m sowohl

etwas nach rechts oder links, als auch nach vorn oder zurück bewegt werden.

Einen äusserst empfindlichen Multiplicator hat Buff in den „Annal. d. Chem. und Pharm. Bd. LXXXVI" beschrieben. 12000 Windungen eines sehr feinen übersponnenen Kupferdrahtes sind auf eine cylindrische Hülse von Kupfer aufgewunden. Innerhalb derselben hängt ein kurzes dickes Magnetstäbchen, welches mit einer über dem Theilkreise beweglichen Nadel zu einem astatischen System verbunden ist. Wird die obere Nadel durch eine nicht magnetische nur als Zeiger dienende Nadel ersetzt, so ist das Instrument gewissermaassen eine multiplicirende Tangentenbussole.

Selbst bei Multiplicatoren, zu deren Construction chemisch reiner Kupferdraht verwendet wurde, hat man noch magnetische Einwirkungen der Drahtwindungen auf das astatische Nadelpaar beobachtet, welche in diesem Falle nur von einem Eisengehalt der gefärbten Seide herrühren können, mit welcher der Draht übersponnen ist. Es ist deshalb der Vorschlag gemacht worden, den Draht nur mit ungefärbter Seide zu überspinnen.

Spiegelgalvanometer. Wir haben im vorigen Paragraphen gesehen, dass eine gesteigerte Astasie der Nadeln den Multiplicator zwar 126
empfindlicher macht, daneben aber auch mancherlei Nachtheile und Unbequemlichkeiten mit sich führt. Es ist deshalb zweckmässiger, die Astasie entweder ganz aufzugeben, oder doch nur geringere Grade derselben zu verwenden, sich also mit kleineren Ausschlägen zu begnügen, dagegen aber Sorge zu tragen, dass schon die kleinsten Ablenkungen mit grosser Genauigkeit gemessen werden können. Am vollständigsten lässt sich dies durch den Poggendorff'schen Spiegelapparat erzielen, durch dessen Combination mit dem Multiplicator die Spiegelgalvanometer entstanden, welche noch den weiteren Vortheil bieten, dass die an ihnen abgelesenen Ablenkungen ohne merklichen Fehler der ablenkenden Stromkraft proportional sind.

Einer der einfachsten hierher gehörigen Apparate ist Weber's Spiegelgalvanometer, Fig. 326 (a. f. S.), welches wir zum Theil schon auf S. 31 kennen gelernt haben. Das transportable Magnetometer ist eben dadurch zu einem Multiplicator gemacht worden, dass der Magnetstab mit einer Reihe von Windungen übersponnenen Kupferdrahtes umgeben ist. Die Drahtwindungen bestehen aus drei gesonderten Drahtstücken, von denen jedes drei Lagen bildet. Jedes Ende eines jeden Drahtstückes ist mit einer Klemmschraube versehen, wie man Fig. 327 deutlicher sieht, und zwar bilden f und f' die Enden der untersten, g und g' die Enden der mittleren, h und h' endlich die Enden der obersten Drahtlage. Mittelst dieser Klemmschrauben ist man nun im Stande, die Drahtlagen auf verschiedene Weise zu combiniren, je nachdem es die Eigenthümlichkeiten des durchzusendenden Stromes erfordern.

Wiedemann's Spiegelgalvanometer ist Fig. 328 dargestellt. Innerhalb einer Kupferhülse *A*, deren Wanddicke 17^{mm} beträgt, hängt, von

Fig. 326.



Fig. 327.

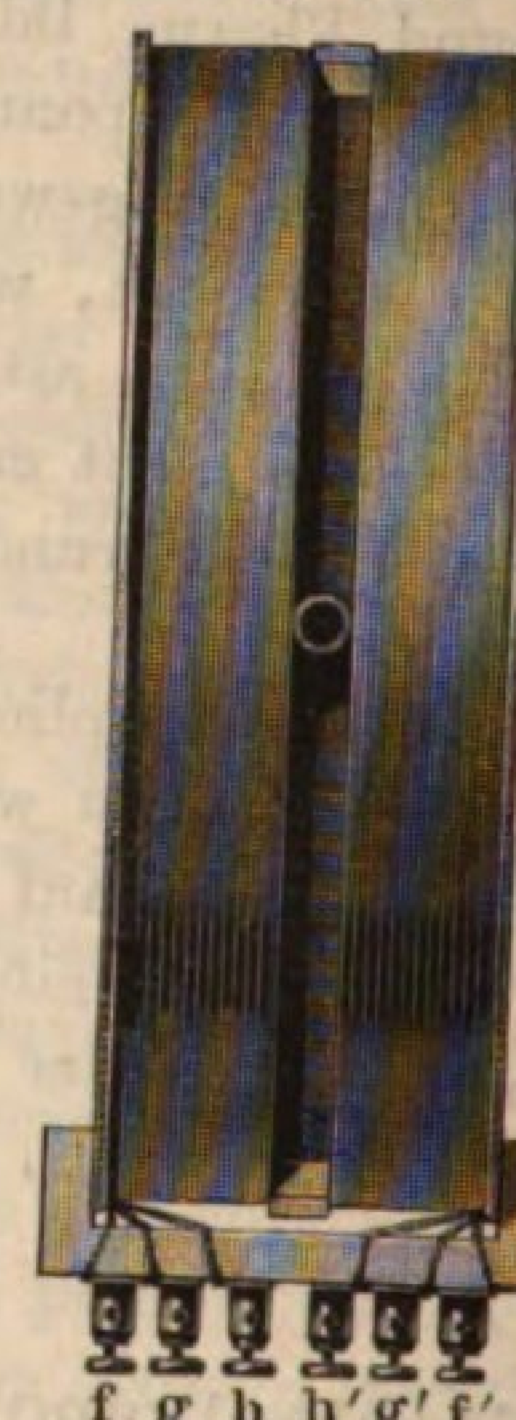
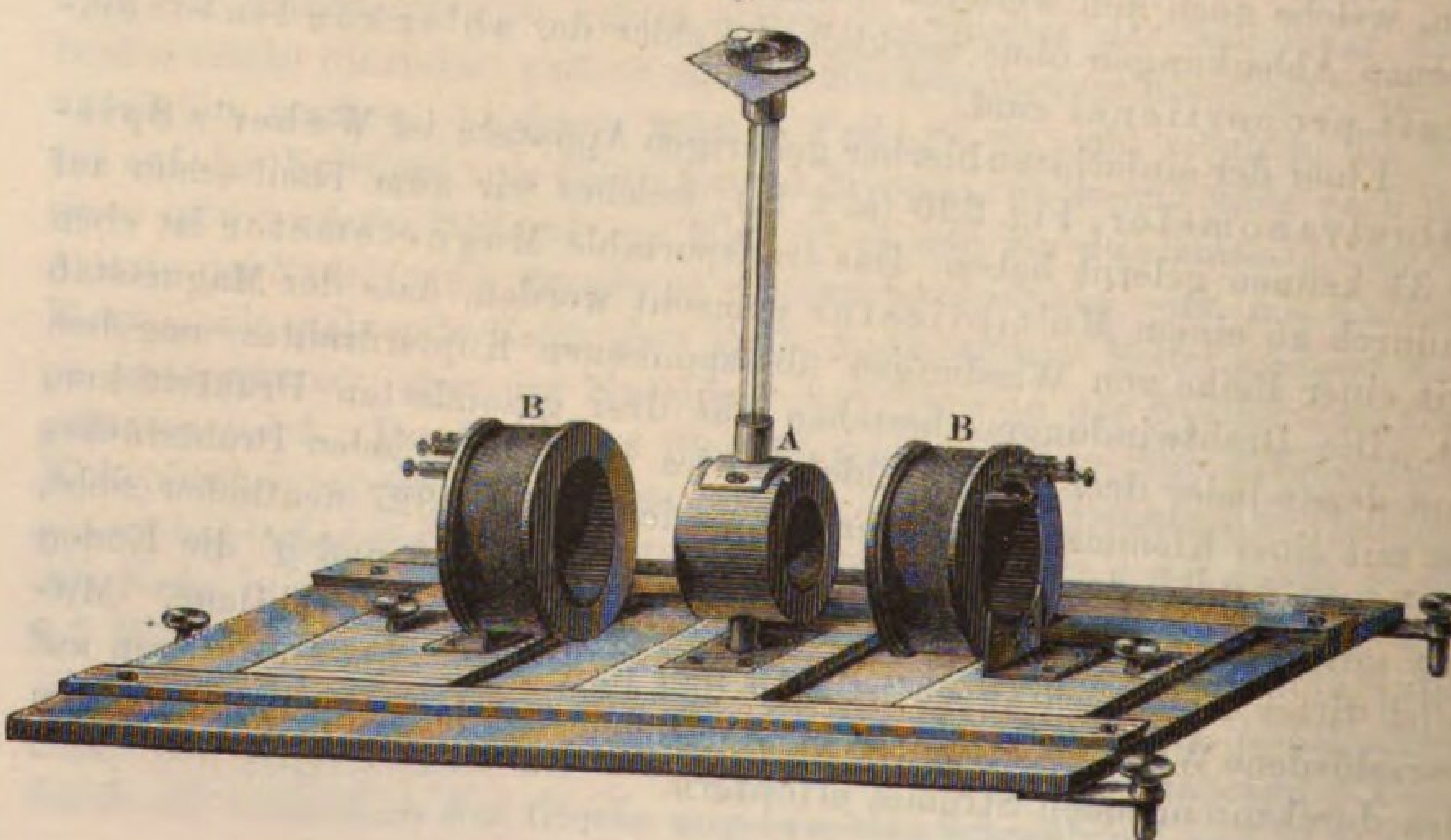


Fig. 329.



Fig. 328.



einem Coconfaden getragen, ein **Stahlspiegel** von 1^{mm} Dicke und 19^{mm} Durchmesser, welcher so magnetisirt ist, dass sein horizontaler Durchmesser die magnetische Axe desselben bildet, wie dies Fig. 329 darstellt.

Auf jeder Seite der Kupferhülse A ist eine Drahtspirale B so angebracht, dass die Axen der Drahtspiralen in die Verlängerung der Axe der Kupferhülse fallen, und dass man sie nach Belieben der Kupferhülse nähern, ja theilweise über dieselbe schieben, oder sie von derselben entfernen kann. Jede dieser Spiralen ist durch zwei 60 Meter lange 1^{mm} dicke Drähte gebildet; jedes Drahtende ist mit einer besondern Schraubklemme versehen, so dass die einzelnen Drähte auf mannigfaltige Weise mit einander verbunden werden können.

Der Apparat wird so aufgestellt, dass die Axe der Drahtwindungen und der Kupferhülse rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian steht, dass also die Ebene des Stahlspiegels, wenn er nur durch den Erdmagnetismus gerichtet wird, parallel mit der Ebene der Drahtwindungen ist.

Um Luftströmungen abzuhalten, ist die Kupferhülse auf beiden Seiten durch geschliffene Glasplatten verschlossen.

Die Ablenkungen des Spiegels werden wie beim Magnetometer durch ein Fernrohr abgelesen, welches sammt der Scala in der Verlängerung der Axe, der Hülse und der Spiralen in einem Abstande von ungefähr 2 Metern aufgestellt ist.

Wenn es nöthig ist, dem Instrumente eine möglichste Empfindlichkeit zu geben, kann man durch einen Magnetstab die richtende Kraft, welche der Erdmagnetismus auf den Stahlspiegel ausübt, beliebig schwächen, wie dies bereits in §. 11 erörtert wurde.

Meissner und Meyerstein haben ein Spiegelgalvanometer construirt, bei welchem man die Astasie mit grosser Sicherheit und Leichtigkeit nach Bedürfniss reguliren kann. Fig. 330 (a. f. S.) stellt das ganze Instrument, Fig. 331 und Fig. 332 stellen einzelne Theile desselben dar.

Der Multiplicatordraht ist auf eine dickwandige Hülse von Kupfer aufgewickelt. Die Drahtenden sind, vor leitender Berührung mit der Kupferhülse geschützt, auf der einen Seite zur Messingplatte p, Fig. 331, auf der anderen Seite zur entsprechenden, in der Figur aber fast ganz verdeckten Messingplatte p' geführt. Durch Platten von Kammmasse ist eine leitende Berührung von p und p' mit der Kupferhülse verhindert, während jede der Platten p und p' einen Metallzapfen trägt, von denen der eine in der Messinggabel g, der andere in der Messinggabel g' auf der anderen Seite liegt. Von g führt ein Messingstreifen zur Klemmschraube k, von g' zur Klemmschraube k'.

Figur 331 stellt die Kupferhülse mit den Multiplicatorwindungen so dar, als ob nur ein Draht aufgewickelt wäre. In der That sind aber zwei Drähte isolirt von einander neben einander aufgewickelt, und es ist dann die Einrichtung getroffen, dass man nach Bedürfniss die beiden Drahtwindungen neben einander oder hinter einander combiniren kann.

Fig. 330.

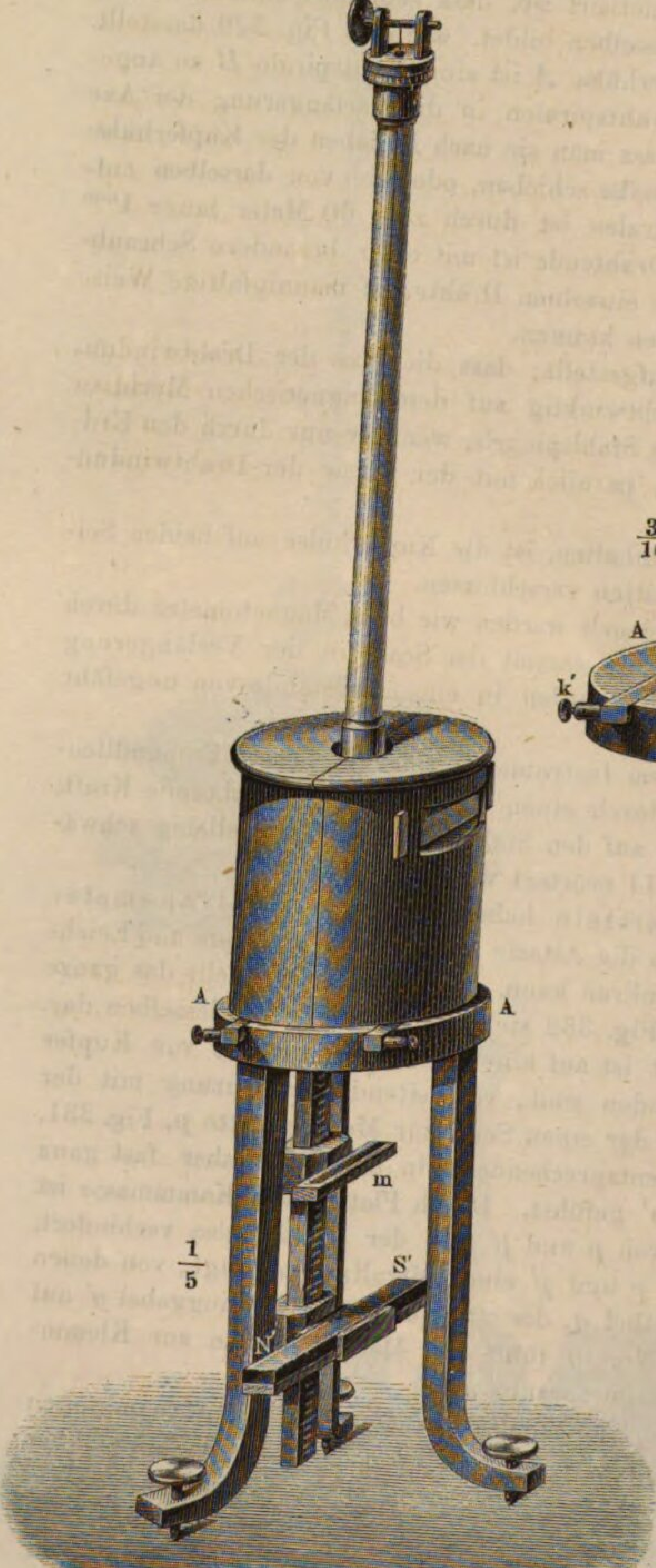


Fig. 331.

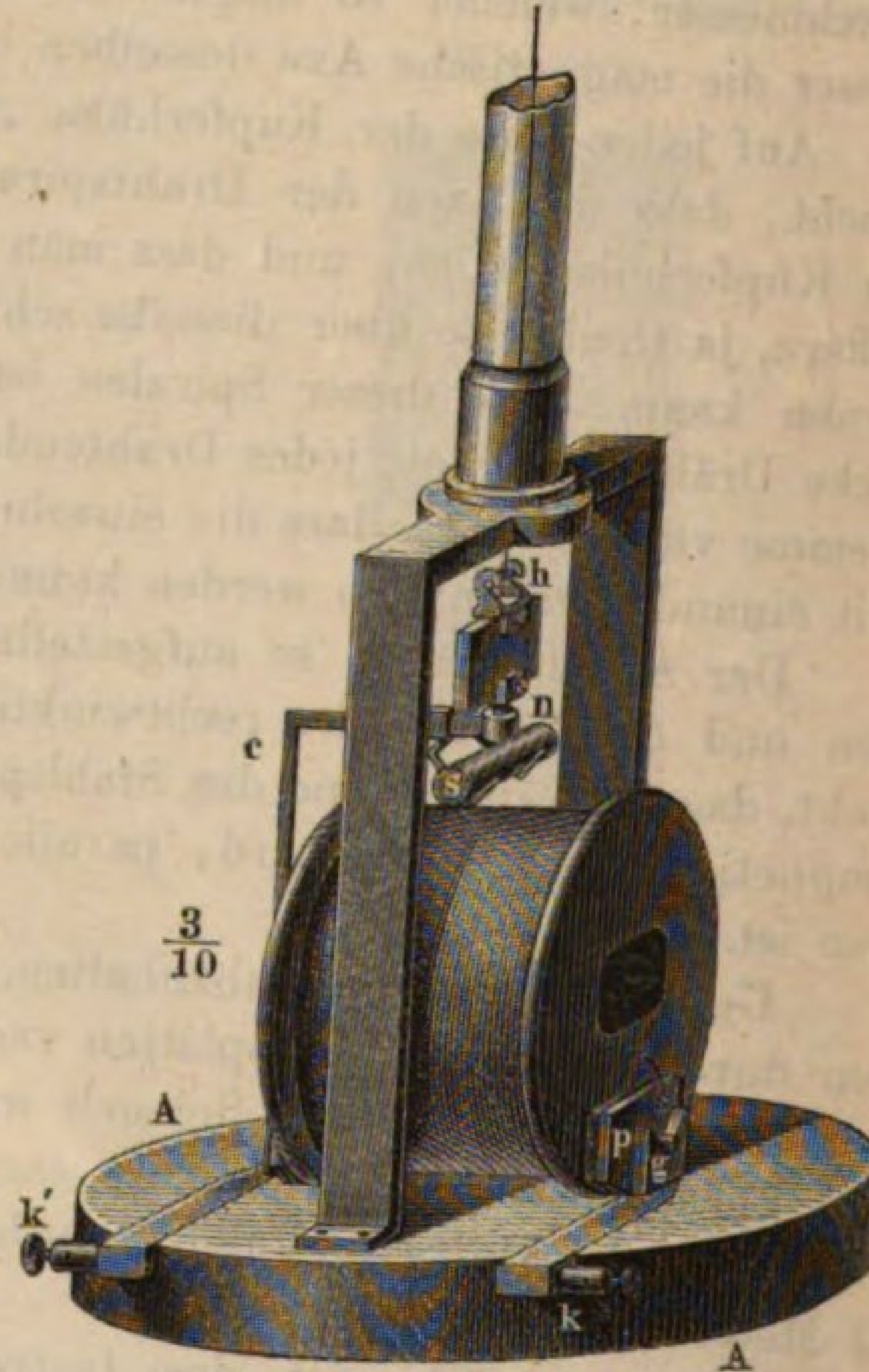
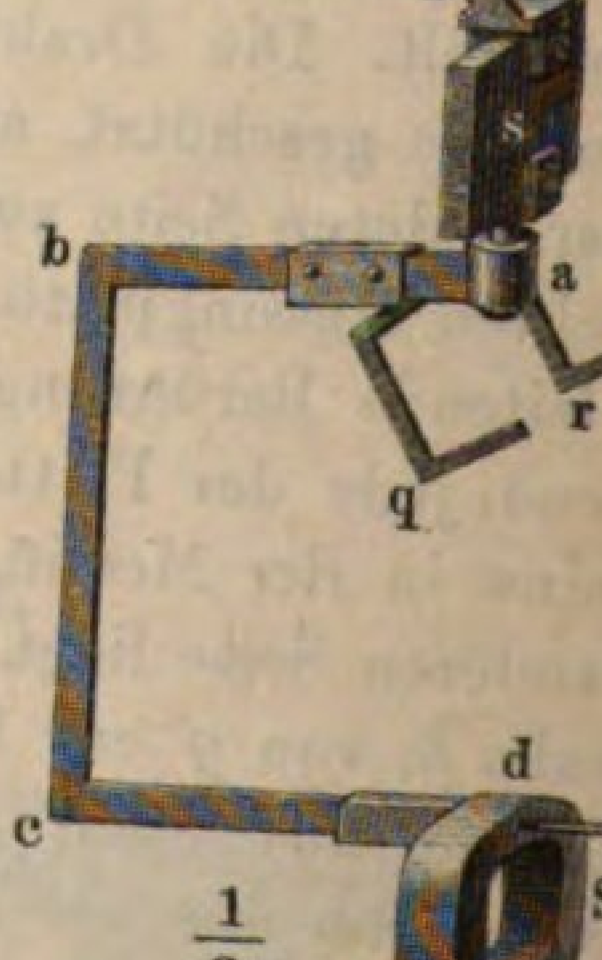


Fig. 332.



Auch gehören zu jedem derartigen Instrumente zwei Multiplicatorgewinde, von denen das eine viele Windungen sehr dünnen, das andere aber weniger Windungen dickeren Drahtes enthält. Je nach Bedürfniss kann man die eine oder die andere Spule auf die Gabeln *g* und *g'* auflegen.

Der drehbare Magnet *NS*, Fig. 332, welcher die Gestalt eines elliptischen Ringes hat, wird von einem leichten Messingbügel getragen, dessen unterer horizontaler Arm *cd* von der einen Seite her in die Höhlung der Multiplicatorspirale hineinragt. Oben trägt der Messingbügel eine Gabel *qr*, in welche ein Magnetstäbchen *sn* so eingelegt wird, dass seine Pole die entgegengesetzte Richtung des ringförmigen Magnets *NS* haben, dass also *NS* theilweise durch *sn* astatisch gemacht ist.

Der Spiegel *s* kann um seine verticale Axe gedreht werden, so dass man seiner Ebene jede beliebige Stellung gegen den magnetischen Meridian geben kann. Mittelst der Haken *h* wird der Bügel *abcd* sammt Spiegel und Magneten an einem Messingstäbchen aufgehängt, welches von einem Bündel ungedrehter Coconfäden getragen wird.

Um den Luftzug abzuhalten, ist die ganze eben besprochene Partie mit einem Holzkästchen umgeben, welches dem Spiegel gegenüber mit einer durch eine Spiegelglasplatte verschlossenen Oeffnung versehen ist, wie man Fig. 330 sieht.

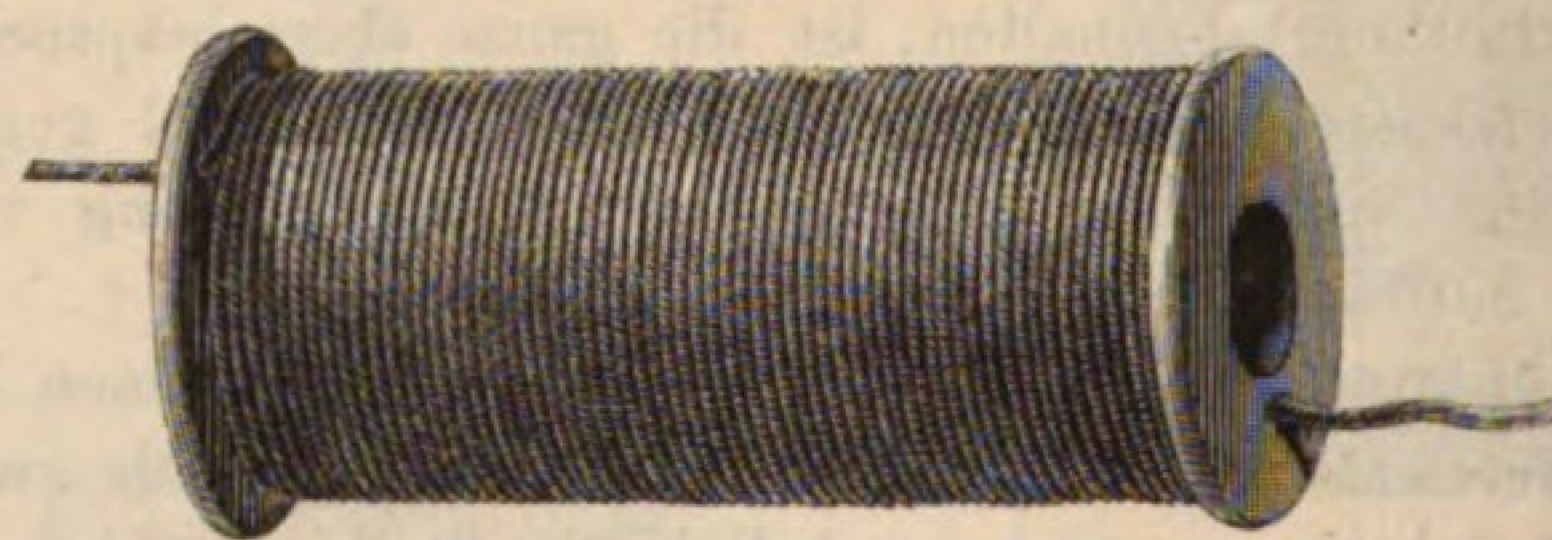
An der unteren Seite der von drei Füssen getragenen Holzscheibe *AA* ist ein verticaler Stab angebracht, an welchem sich zwei Schieber auf und nieder bewegen und an beliebiger Stelle festklemmen lassen. Der obere dieser Schieber trägt den kleinen Magnetstab *m*, der untere den grösseren Magnetstab *N'S'*. Die Pole dieser beiden Magnete sind mit denen des ringförmigen Magnets *NS* gleichgerichtet, so dass sie also der richtenden Kraft des Erdmagnetismus auf den beweglichen Magnet *NS* entgegenwirken. Jenachdem man nun die Schieber mit den Magneten *m* und *N'S'* höher oder tiefer feststellt, kann man den Einfluss dieser Magnete nach Belieben modificiren, oder man kann sie sammt dem in der Gabel *qr* liegenden Magnetstab ganz entfernen, wenn *NS* dem vollen Einfluss des Erdmagnetismus ausgesetzt sein soll.

Alle Spiegelgalvanometer bieten noch den weiteren Vortheil, dass man die Ablenkungen des beweglichen Theils auch einem grösseren Zuhörerkreise sichtbar machen kann. Zu diesem Zwecke werden die Strahlen einer etwas seitlich von der Normalen des Spiegels aufgestellten Lichtquelle, etwa einer Lampe, durch eine Linse auf der Oberfläche des Spiegels gesammelt, und alsdann der vom Spiegel aus divergirende Strahlenkegel durch eine zweite Linse auf einem Schirm von durchscheinendem Papier concentrirt, auf welchem eine Scala in entsprechender Grösse aufgetragen ist. Wenn der drehbare Magnet in seiner Gleichgewichtslage ist, soll ungefähr die Mitte der Scala erleuchtet erscheinen; der Lichtpunkt wandert aber nach der einen oder der andern Seite, je nachdem der drehbare Magnet nach der einen oder nach der andern Seite hin abgelenkt wird.

127 **Magnetisirung des weichen Eisens durch den Strom.** Der elektrische Strom wirkt nicht allein richtend auf den freien Magnetismus, sondern er ist auch im Stande, magnetisirend auf weiches Eisen und Stahl zu wirken, was sich schon dadurch zeigt, dass ein von einem kräftigen Strom durchflossener Leitungsdraht Eisenfeile anzieht. — Um einen Eisenstab zu magnetisiren, muss man den Strom mehrfach um denselben herumführen, was dadurch geschieht, dass man den mit Seide oder Wolle übersponnenen Leitungsdraht spiralförmig um das Eisen herumwindet. Statt die Drahtwindungen direct auf dem Eisen anzubringen, ist es aber zweckmässiger, den Draht auf eine Spule von Holz (damit man die Spirale auch zu Inductionsversuchen anwenden kann) aufzuwinden und den zu magnetisirenden Eisenstab in die Höhlung derselben hineinzuschieben.

Fig. 333 stellt eine solche Magnetisirungsspirale dar. Man hat deren von sehr verschiedenen Grössen und Drahtdimensionen. Für sehr kräftige

Fig. 333.



Wirkungen werden Magnetisirungsspiralen angewandt, welche aus 800 bis 1000 Windungen eines $^1/_2$ bis 1 Linie dicken Kupferdrahtes bestehen, die natürlich in mehreren Lagen über einander liegen.

Schiebt man nun einen Eisenstab in eine solche Spirale hinein, so wird er magnetisch, sobald ein elektrischer Strom die Spirale durchläuft. Ragen die Enden des Eisenstabes aus der Spirale hervor, so kann man Eisenstücke an dieselben anhängen. Sobald der Strom unterbrochen wird, fallen diese Eisenstücke ab, weil das weiche Eisen nur so lange magnetisch bleibt, als es dem magnetisirenden Einfluss ausgesetzt ist.

Was die Polarität der beiden Enden des Eisenstabes betrifft, so ist dieselbe nach den Bemerkungen auf Seite 349 leicht zu bestimmen; dasjenige Ende, welches, dem Beschauer zugewendet, vom positiven Strom in der Richtung umkreist erscheint, in welcher sich der Zeiger einer Uhr dreht, ist der Südpol, d. h. derjenige Pol, welcher sich nach Süden richten würde, wenn der Elektromagnet (so nennt man nämlich Eisenstäbe, welche durch den Einfluss des galvanischen Stromes in temporäre Magnete verwandelt sind) sich frei in der Horizontalebene drehen könnte.

Fig. 334.

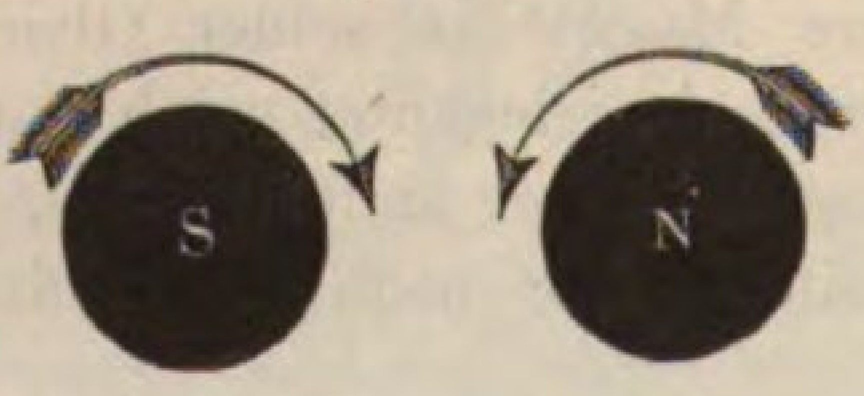


Fig. 334 dient, um das Gesetz der Polarität zu erläutern.

Wie den Stahlmagneten, so giebt man auch den Elektromagneten eine

U-förmige Gestalt, wenn man eine grosse Tragkraft erzielen will. Um die Gesetze der Tragkraft solcher Elektromagnete zu untersuchen, wendet man am besten kleinere Eisen an. Fig. 335 stellt eine zweckmässige Aufstellungsart kleinerer U-förmiger Elektromagnete in ungefähr $^{1}/_{10}$ der natürlichen Grösse dar.

Auf die geradlinigen Schenkel sind die Magnetisirungsspiralen aufgeschoben, so dass man sie wegnehmen und auch zu anderen Zwecken benutzen kann, was auch für grössere Elektromagnete sehr zu empfehlen ist.

Ein solcher Elektromagnet von 1 Centimeter Durchmesser erlangt eine Tragkraft von 20 Pfund, wenn auf jeden Schenkel eine Spirale von ungefähr 250 Windungen aufgeschoben ist und durch diese ein Strom geht, dessen Stärke = 17 ist.

Fig. 335.

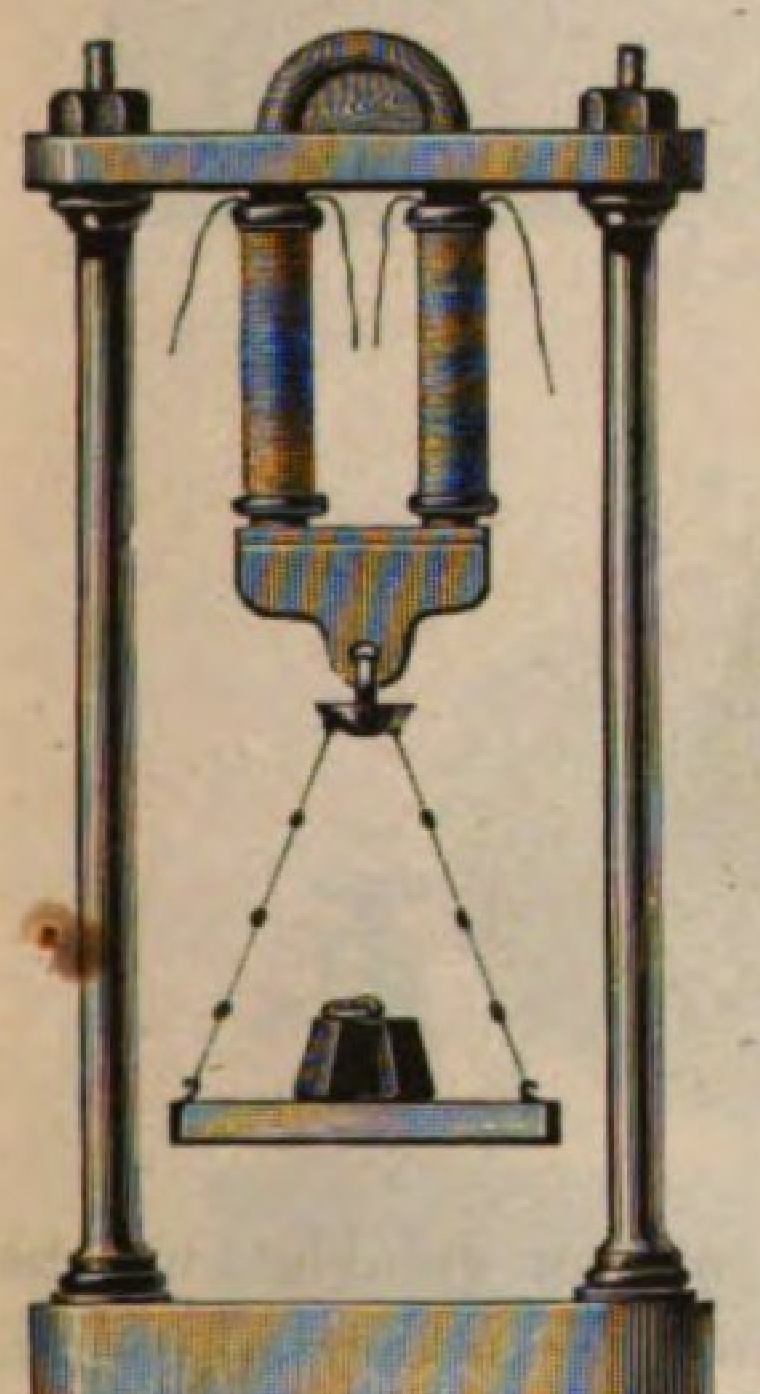


Fig. 336.

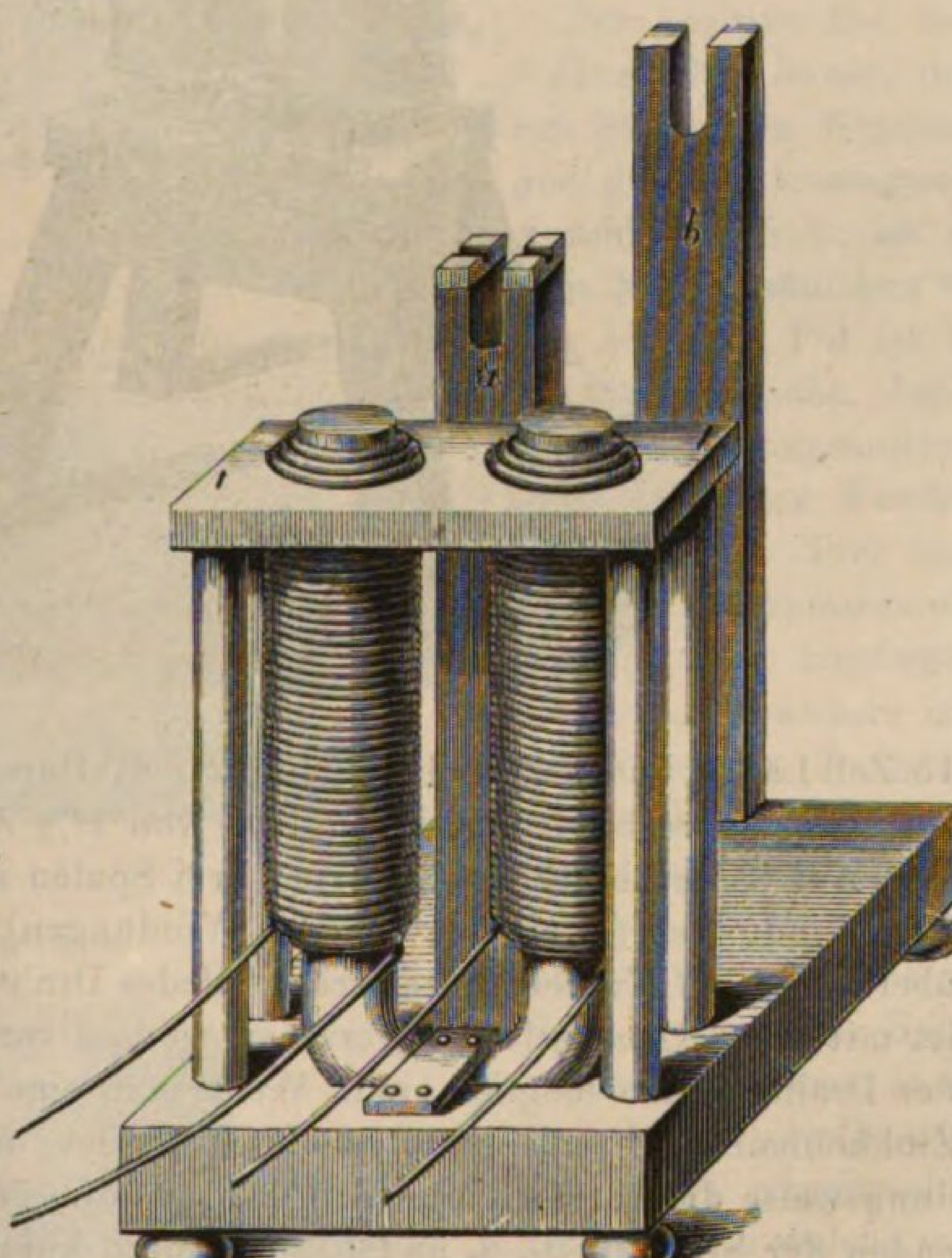
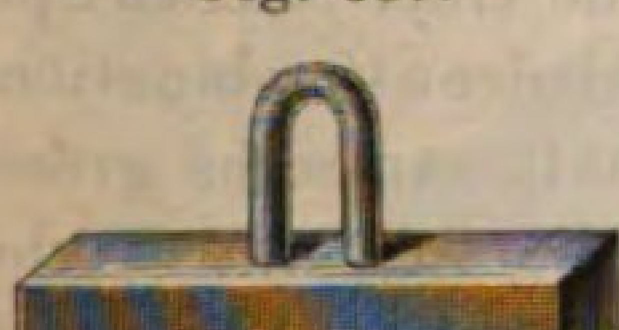


Fig. 337.

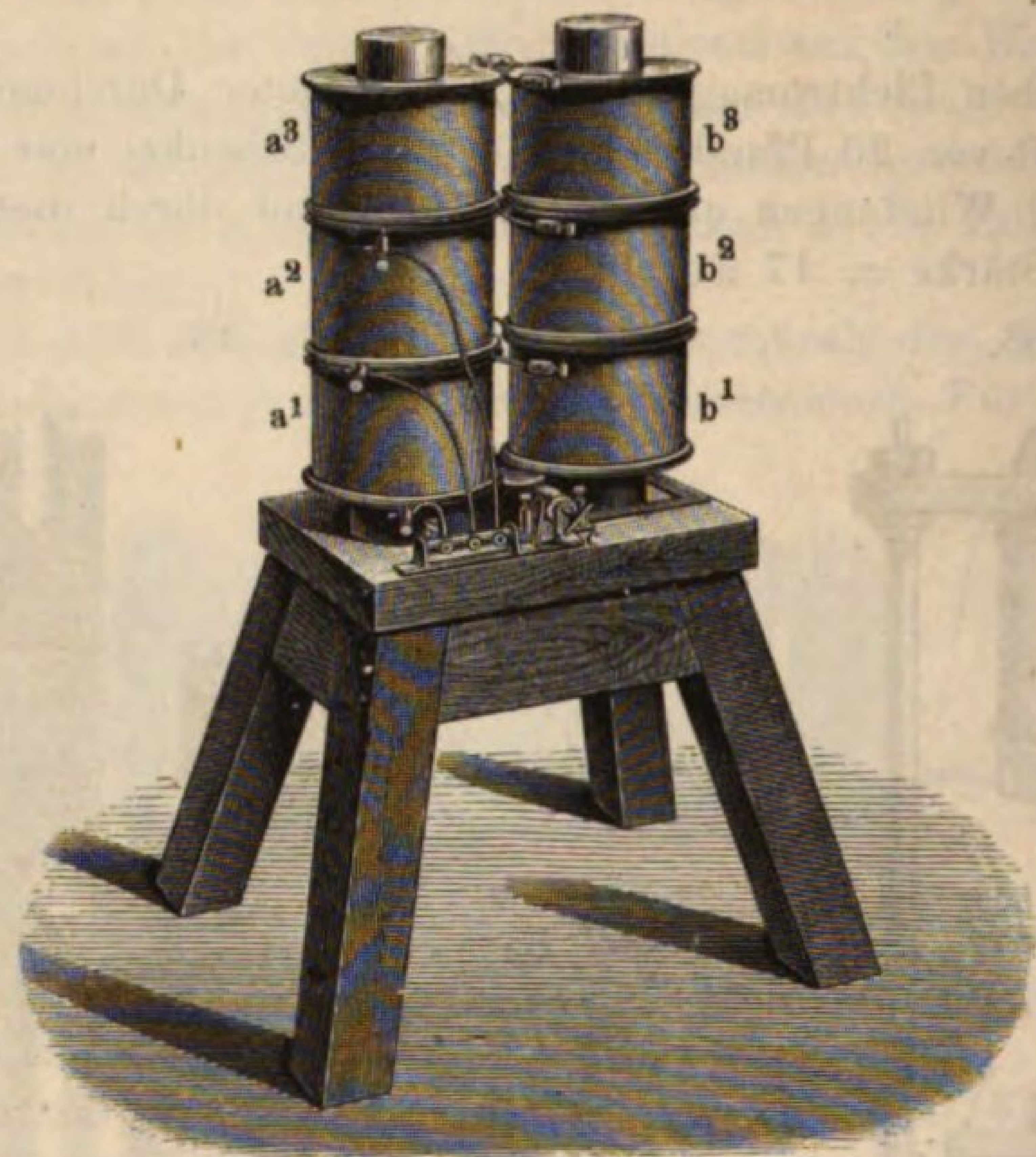


Für manche Versuche, namentlich für die diamagnetischen, die wir weiter unten werden kennen lernen, ist es wünschenswerth, dass die beiden Pole des Elektromagnets nach oben gerichtet sind. Eine für diesen Zweck geeignete Aufstellung des Elektromagnets ist Fig. 336, ungefähr in $^{1}/_{5}$ der natürlichen Grösse dargestellt.

Um die Tragkraft dieses Elektromagnets zu prüfen, setzt man auf die Pole einen Anker von der Form Fig. 337; in das Ohr desselben wird ein eiserner Hebel eingesetzt, dessen Schneide auf der Säule *a* ruht; am anderen Ende des Hebels werden entsprechende Gewichte angehängt. Die Säule *b* dient, um den Hebel aufzufangen, wenn der Anker abgerissen wird.

Fig. 338 stellt einen noch grösseren, vollständig ausgerüsteten Elektromagneten dar. Die beiden Schenkel sind durch eiserne Cylinder von

Fig. 338.



15 Zoll Länge und 3 Zoll (besser nur 2 Zoll) Durchmesser gebildet, welche auf einer sie verbindenden Eisenplatte von 1$^1/_2$ Zoll Dicke befestigt sind.

Auf jeden der Eisenkerne sind drei Spulen aufgeschoben, deren jede 330 Windungen (11 Lagen von 30 Windungen) 3^{mm} dicken mit Wolle übersponnenen Kupferdrahtes trägt. Jedes Drahtende einer solchen Spule ist mit einer Klemmschraube versehen, so dass verschiedene Combinationen der Drahtspiralen möglich sind. Wenn man eine Säule von sechs grossen Zinkkohlenbechern als Stromquelle anwendet, ist die folgende Verbindungsweise die vortheilhafteste: die Klemmschrauben der inneren Drahtenden der Spiralen a_1, a_2 und a_3 sind durch kurze dicke Drähte mit dem Messingstäbchen s, und in gleicher Weise die Klemmschrauben der inneren Drahtenden von b_1, b_2 und b_3 mit einem ähnlichen Messingstäbchen s' verbunden, welches auf der Rückseite des Apparates angebracht ist, wie man in dem Grundriss Fig. 339 ersieht. Alsdann sind die äusseren Drahtenden von a_1 und b_1, von a_2 und b_2, von a_3 und b_3 durch kurze dicke Kupferdrähte verbunden, wie man dies für a_3 und b_3 gleichfalls in Fig. 339 sieht.

Um nach Belieben den positiven Strom von s oder von s' aus in den Apparat eintreten zu lassen, so dass er ihn in der Richtung der kleinen Pfeile, Fig. 339 oder in der entgegengesetzten durchläuft, dient ein Ruhmkorff'scher Commutator, dessen Einrichtung aus Figur 338 wegen der Kleinheit des Maassstabes nicht erkannt werden kann, zu dessen Erläuterung aber die Figuren 339, 340 und 341 dienen.

Fig. 339.

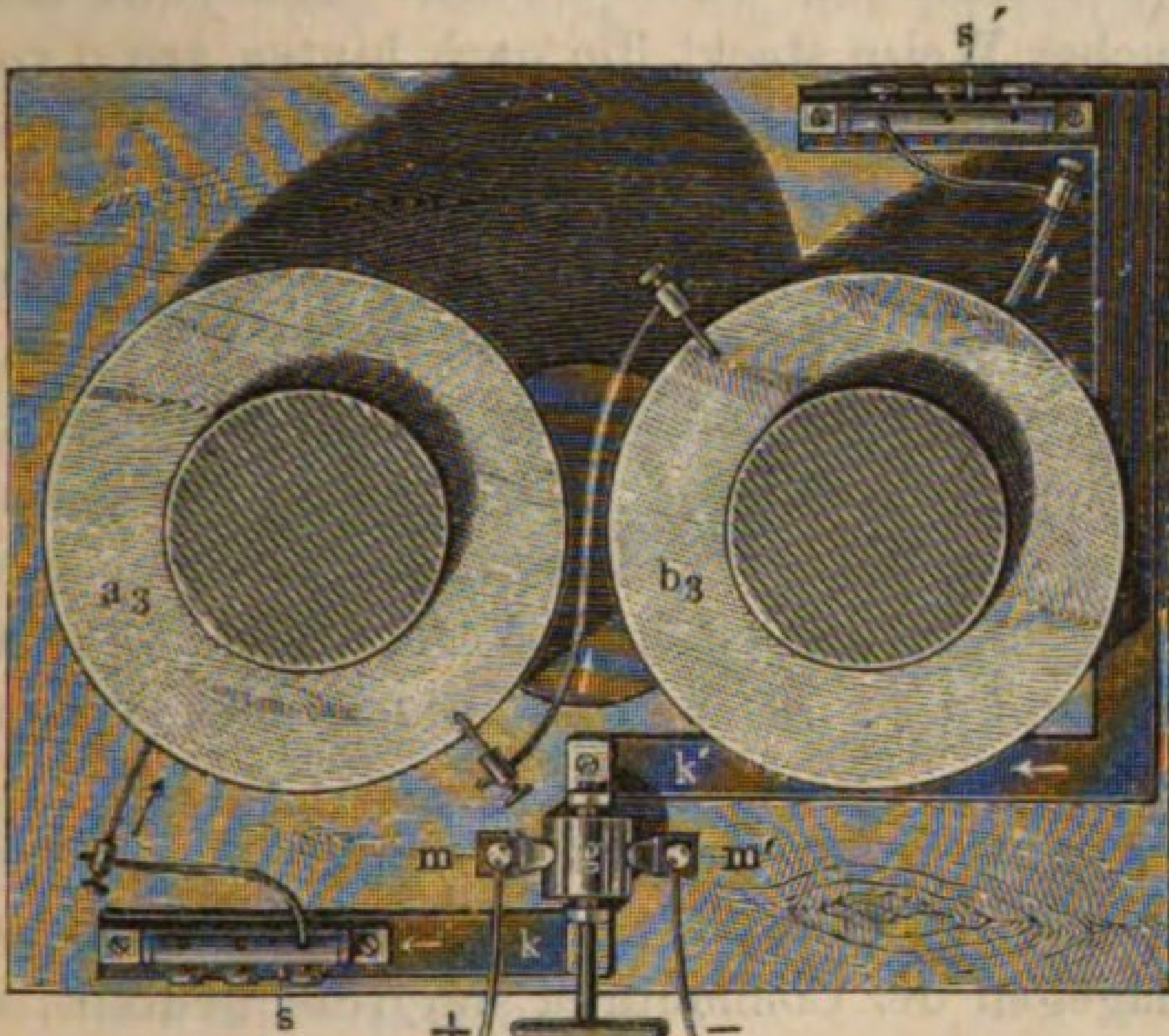


Fig. 340.

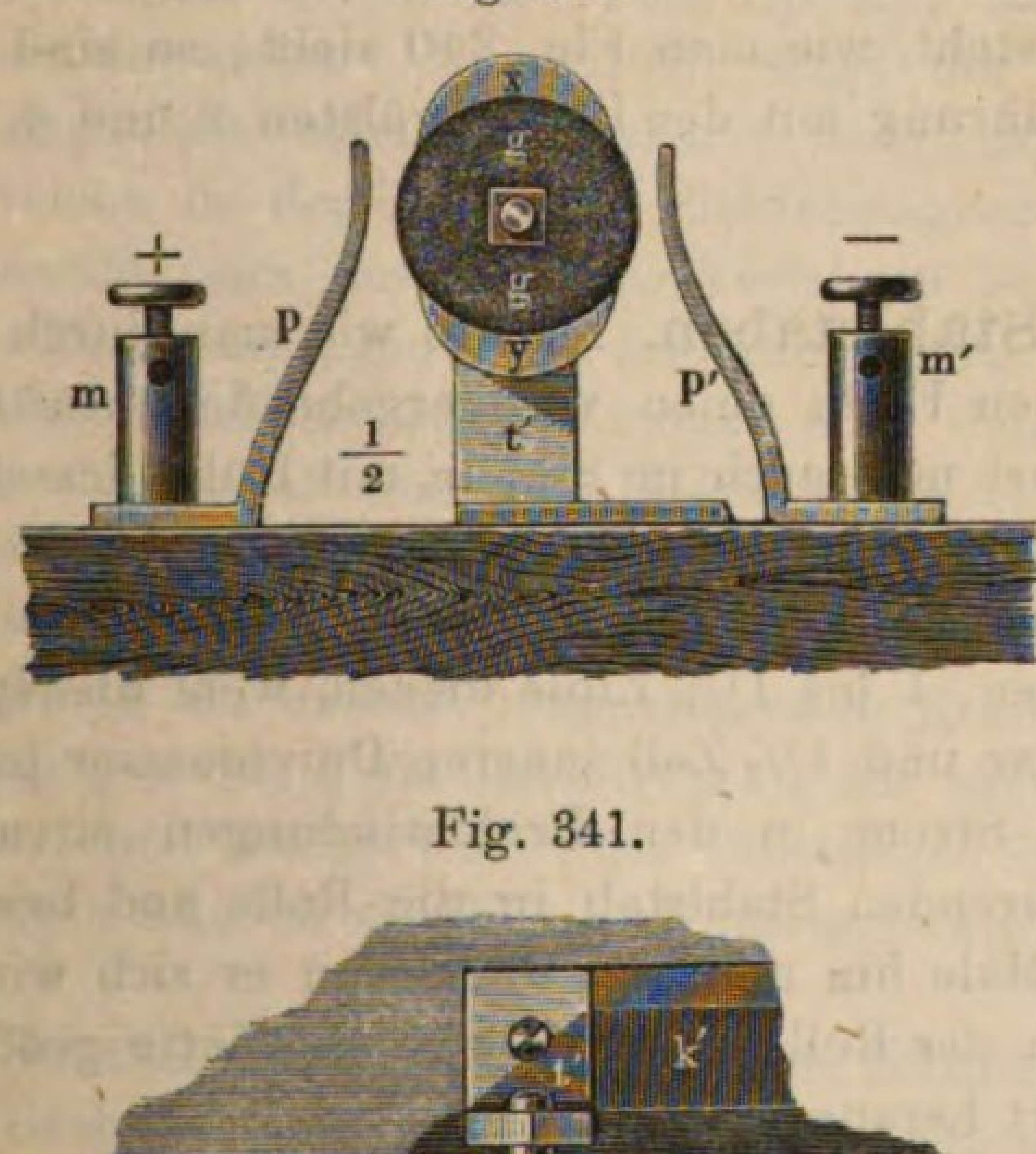
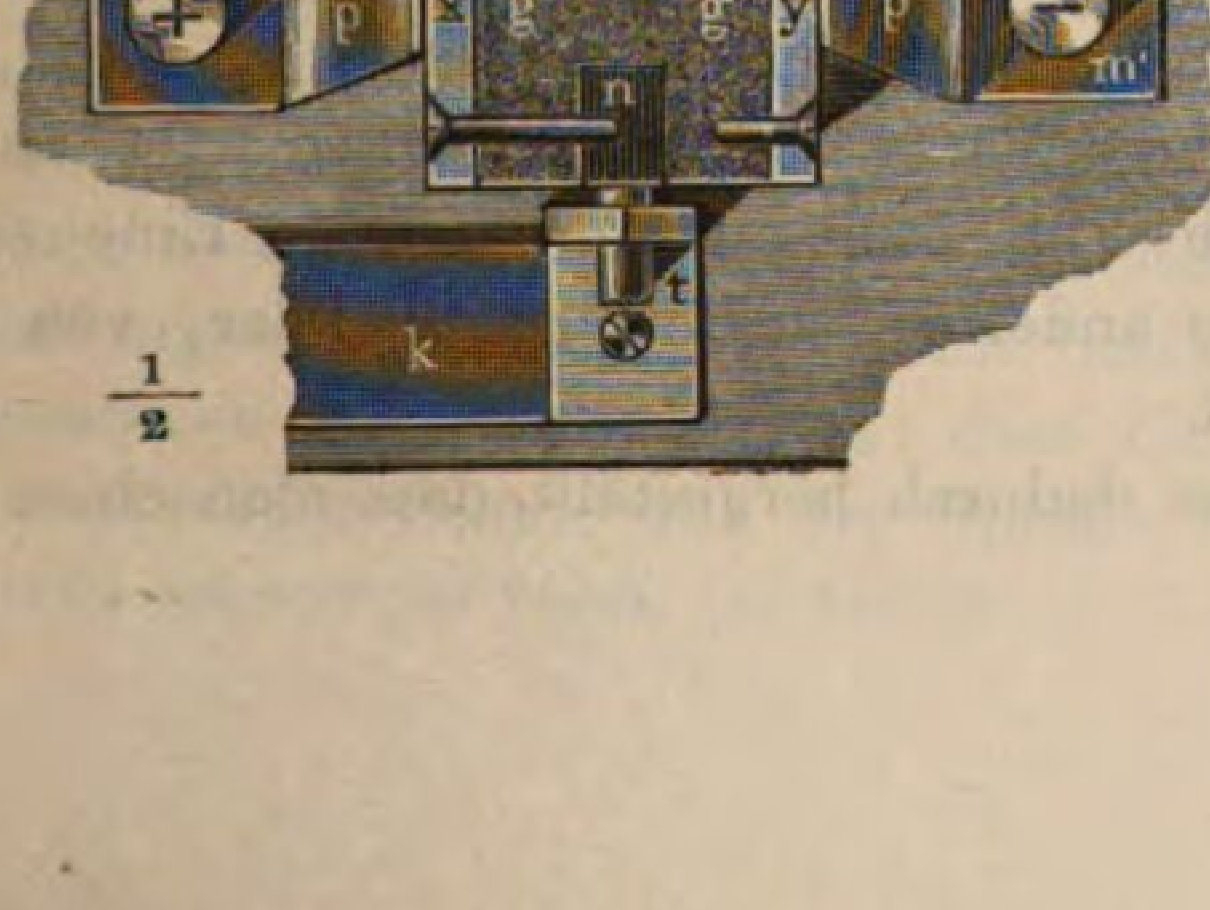


Fig. 341.



Der positive Pol der Volta'schen Säule, deren Strom die Windungen des Elektromagnets durchlaufen soll, ist in dem Messingsäulchen m, der negative Pol ist in m' eingeschraubt. Jedes dieser Messingsäulchen sitzt auf einer Kupferplatte fest. Die eine dieser Kupferplatten endet mit der kupfernen Feder p, die andere mit der Feder p'. Zwischen diesen Federn ist nun um eine horizontale Axe drehbar ein kurzer Cylinder g, von hartem Holz, gehärtetem Kautschuk oder einer anderen harten isolirenden Substanz angebracht. Die Axe, um welche sich der Cylinder g dreht, wird durch zwei Eisenstäbe gebildet, welche von entgegengesetzter Seite her in die Masse von g eingelassen sind,

ohne mit einander in Berührung zu treten. Die nach vorn aus *g* hervorragende eiserne Axe steckt in dem verticalen Theile des rechtwinklig gebogenen Messingstückes *t*, während der horizontale Theil desselben auf einem Kupferstreifen *k* aufgeschraubt ist, welcher weiter links das Messingstäbchen *s* trägt. In gleicher Weise steckt die nach hinten aus *g* vorragende eiserne Axe in dem Messingstück *t'*, welches auf dem Kupferstreifen *k'* aufgeschraubt ist.

Auf der isolirenden Walze *g* sind nun ferner diametral gegenüberstehend die kupfernen Wülste *x* und *y* befestigt, und zwar jede durch zwei metallene Schrauben, von denen die eine kurz ist und nur in die isolirende Masse von *g* eindringt, während die andere bis in die eiserne Axe reicht. Auf diese Weise ist der Wulst *x* stets mit dem Eisenstücke *n*, mit dem Messingstücke *t*, mit *k* und *s* in leitender Verbindung, während andererseits der Wulst *y* stets mit *n'*, *t'*, *k'* und *s'* in leitender Verbindung steht.

Hat also die Commutatorwalze die Stellung wie in Fig. 341, so tritt der positive Strom von *p* über *x*, *n*, *t*, *k* und *s* in die Windungen des Elektromagnets ein; wird dagegen der Commutator um 180° gedreht, so dass der Wulst *x* mit der Feder *p'*, *y* aber mit *p* in Berührung kommt, so circulirt der Strom in entgegengesetzter Richtung.

Stellt man die Commutatorwalze so, dass die Verbindungslinie der beiden Kupferwülste vertical steht, wie man Fig. 340 sieht, so sind die Federn *p* und *p'* nicht in Berührung mit den Kupferwülsten *x* und *y*, der Strom ist also unterbrochen.

128 **Magnetisirung von Stahlstäben.** Ebenso wie man durch den galvanischen Strom im weichen Eisen einen vorübergehenden kräftigen Magnetismus erzeugen kann, ist man auch im Stande, mit Hülfe desselben Stahlmagnete von grosser Stärke hervorzubringen. Elias wandte zu diesem Zwecke zuerst eine nur 1 Zoll lange Drahtspirale an, welche aus einem ungefähr 25 Fuss langen, 1 bis $1^1/_2$ Linie dicken, wohl übersponnenen Kupferdraht gebildet war und $1^1/_2$ Zoll inneren Durchmesser hatte.

Während ein kräftiger Strom in den Drahtwindungen circulirt, steckt man den zu magnetisirenden Stahlstab in die Rolle und bewegt ihn bis an die Enden einige Male hin und her, und wenn er sich wieder mit seinem mittleren Theile in der Rolle befindet, wird die Kette geöffnet und dann der Stab magnetisirt herausgenommen.

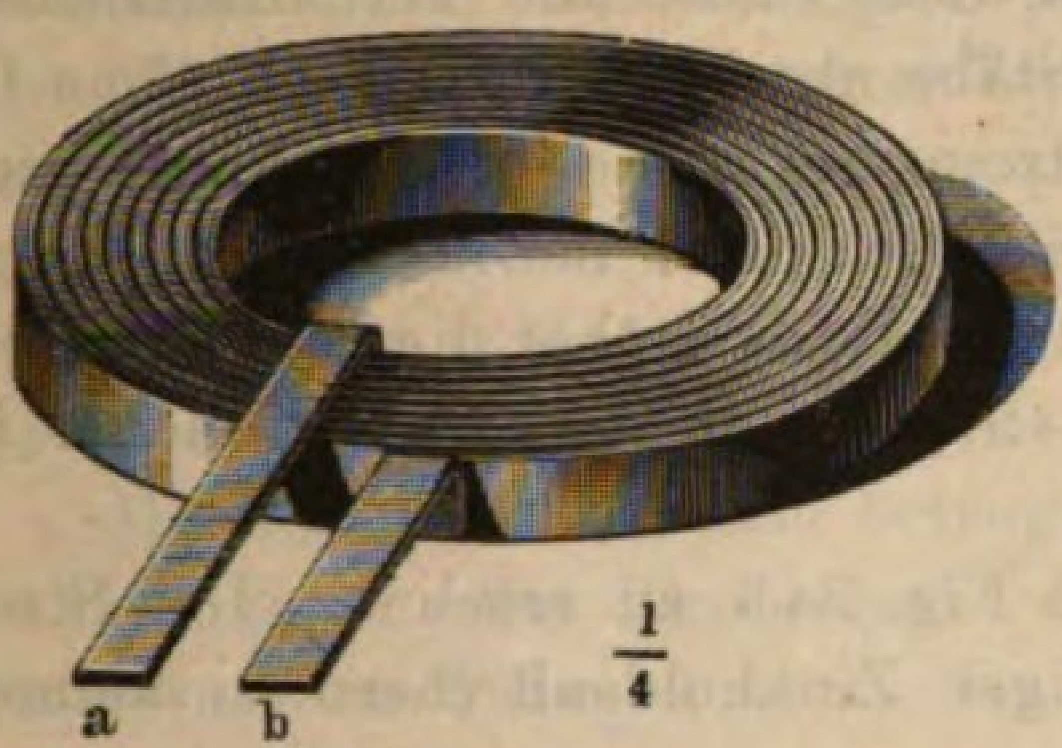
Es ist gut, den Stahlstab oben und unten mit einem Sück weichen Eisens und, wenn der zu magnetisirende Stab hufeisenförmig gebogen ist, ihn während der Operation mit einem Anker zu versehen.

Statt einer Drahtspirale kann man auch eine Bandspirale anwenden, deren Einrichtung durch Fig. 342 erläutert wird. Eine solche Spirale ist auch noch zu vielen anderen Versuchen brauchbar, von welchen später die Rede sein wird.

Solche Bandspiralen werden dadurch hergestellt, dass man einen lan-

gen Streifen von Kupferblech, welcher ungefähr $1^1/_2$ bis 2 Centimeter breit ist, gleichzeitig mit einem wollenen oder seidenen Bande aufwindet, welches etwas breiter ist als der Blechstreifen, und welches zur Isolirung einer jeden Blechlage von der folgenden dient.

Fig. 342.



Das rechtwinklig umgebogene Ende des Zuleitungsstreifen *b* ist an das äussere Ende der Blechwindungen angelöthet, und in gleicher Weise ist der Zuleitungsstreifen *a* mit dem inneren Ende der Windungen in Verbindung gebracht. Der grösseren Festigkeit wegen wird die ganze Spirale noch mit wollenem oder seidenem Bande umwickelt, so dass die einzelnen Windungen nicht mehr sichtbar sind. In unserer Zeichnung, in welcher überdies die Dicke des Blechs der Deutlichkeit wegen viel zu stark aufgetragen ist, fehlt diese Bandumwickelung.

Frick hat gezeigt, dass man mit Hülfe eines Elektromagnets, etwa eines solchen, wie der Fig. 336 abgebildete, weit kräftiger magnetisiren kann, als mit der Elias'schen Spirale, wenn man nicht sehr starke Ströme anwendet. Namentlich zeigt der Elektromagnet eine grosse Ueberlegenheit beim Magnetisiren sehr harter und dicker Stahlstäbe, für welche in der That der Elektromagnet das geeignetste Magnetisirungsmittel sein dürfte. Das Verfahren ist sehr einfach: Man streicht in der Mitte anfangend mit der einen Hälfte des zu magnetisirenden Stabes oder Hufeisens 10- bis 20mal über den Nordpol, mit der anderen Hälfte eben so oft über den Südpol des Elektromagnets.

Natürlich wird die Hälfte der Stahllamelle der Nordpol, welche auf dem Südpol des Elektromagnets gestrichen wurde.

Durch die enorme magnetisirende Kraft der Elektromagnete ist es möglich geworden, die Coërcitivkraft der härtesten Stahllamellen zu überwinden, und dadurch sind die künstlichen in §. 5 besprochenen Magnetisirungsmethoden ziemlich überflüssig geworden.

Gesetze des Elektromagnetismus. Die magnetisirende Kraft 129
einer Drahtspirale, wie wir sie oben kennen gelernt haben, hängt offenbar ab von der Anzahl ihrer Drahtwindungen und von der Stärke des Stromes, welcher dieselben durchläuft; wir wollen deshalb geradezu das Product, welches man erhält, wenn man die Stromstärke mit der Windungszahl multiplicirt, die magnetisirende Kraft der Spirale nennen.

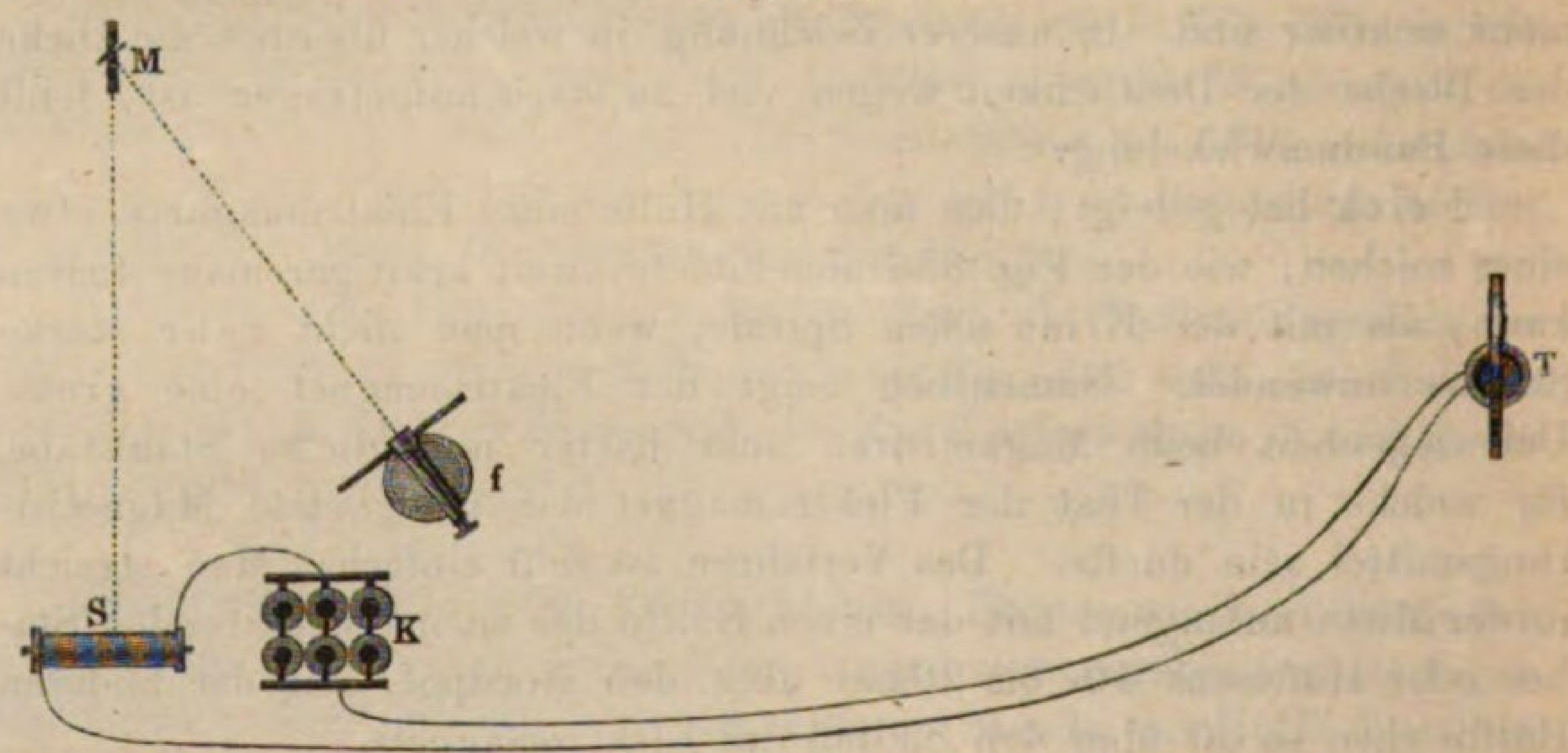
Lenz und Jacobi haben durch Versuche bewiesen, dass die Weite der Windungen ohne Einfluss auf die Stärke des erzielten Magnetismus in Eisenstäben ist, vorausgesetzt, dass die Enden des Eisenstabes weit genug auf beiden Seiten aus der Spirale hervorragen. Nur wenn das

Eisen nicht aus den Windungen hervorragt, ist die Wirkung der engen Windungen etwas stärker als die der weiten.

Dieselben Gelehrten haben gefunden, dass der Magnetismus eines Eisenstabes, welcher in einer Magnetisirungsspirale steckt, in demselben Verhältniss wächst wie der Strom, welcher die Spirale durchläuft. Sie wandten bei ihren Versuchen ziemlich dicke Stäbe und verhältnissmässig schwache Ströme an. Für dünnere Stäbe aber und stärkere Ströme findet die Proportionalität zwischen Stromstärke und Magnetismus nicht mehr statt, wie ich durch mehrere Versuchsreihen bewiesen habe (Pogg. Annal. Bd. LXXIX und LXXXII; Müller, Bericht über die neuesten Fortschritte der Physik, Braunschweig 1849), von denen wir eine näher betrachten wollen.

Die Anordnung derselben ist aus Fig. 343 zu ersehen. Der Strom einer, bald aus mehr bald aus weniger Zinkkohlenbechern zusammen-

Fig. 343.



gesetzten Säule K ging zunächst durch die Magnetisirungsspirale S und dann durch eine ungefähr 100 Fuss weit von S entfernte Tangentenbussole T. Die Stromstärke war durch die an der Tangentenbussole hervorgebrachte Ablenkung bestimmt, die Stärke des Magnetismus, welcher in einem in die Spirale S eingeschlagenen Eisenstab erregt wird, wurde durch die Ablenkung des Magnetometers M gemessen.

Die Magnetisirungsspirale war im magnetischen Meridian des Magnetometers M aufgestellt, und zwar so, dass ihre Axe rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian stand. Die Länge des von dem Drehpunkte des Magnetometers auf die Axe der Spirale gefällten Perpendikels betrug 217 Centimeter. Die Scala, deren Spiegelbild durch das Fernrohr f beobachtet wurde, war 208 Centimeter weit von der Drehungsaxe des Magnetometers entfernt.

Die Stromstärke s wurde bei den folgenden Versuchen gemessen durch die trigonometrische Tangente des Winkels, um welchen die Nadel der Tangentenbussole durch den Strom abgelenkt wurde. Derselbe Strom

brachte, durch die Spirale S gehend, an dem Magnetometer M eine Ablenkung von n Theilstrichen der Scala hervor; wurde dann bei unveränderter Stromstärke ein Eisenstab in die Spirale eingeschoben, so stieg die Ablenkung des Magnetometers auf v Theilstriche, für das magnetische Moment m des eingeschobenen Eisenstabes haben wir also $m = v - n$.

Nach diesen Bemerkungen wird die folgende Tabelle verständlich sein. Sie enthält in der ersten Verticalreihe unter s die trigonometrische Tangente der an der Tangentenbussole beobachteten Ablenkung, also die Stromstärke; in der zweiten Verticalreihe aber das in der angegebenen Weise durch die Magnetometerablesung ermittelte magnetische Moment des in die Spirale eingeschobenen Eisenstabes.

Die Länge der Spirale betrug 30, die der eingeschobenen Eisenstäbe 33 Centimeter. Der Kupferdraht der Spirale war 2,8 Millimeter dick und bildete 380 in 5 Lagen vertheilte Windungen.

s	m		Differenz	$\frac{m}{s}$
	beobachtet	berechnet		
		Stabdicke 44,5 Millimeter.		
0,785	20,41	20,06	− 0,35	25,6
0,344	8,80	8,81	+ 0,01	25,6
0,129	3,41	3,31	− 0,10	26,4
		Stabdicke 15 Millimeter.		
0,611	8,38	8,09	− 0,29	13,7
0,414	5,95	5,83	− 0,12	14,3
0,126	1,81	1,87	+ 0,06	15,0
		Stabdicke 6 Millimeter.		
0,871	2,56	2,91	+ 0,35	2,94
0,567	2,29	2,61	+ 0,32	4,04
0,382	2,45	2,27	+ 0,12	5,62
0,213	1,78	1,64	− 0,14	8,35
0,124	1,14	1,08	− 0,06	9,19

Nach vielen vergeblichen Versuchen ist es mir gelungen, das Verhältniss zwischen Stromstärke s und dem temporären Magnetismus m des Eisenstabes in der Magnetisirungsspirale durch eine Formel auszudrücken, welche sich allen von mir angestellten Beobachtungsreihen anschliesst. Diese Formel ist

$$s = A d^{3/2} \, tang \, \frac{m}{B d^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

wenn man mit d den Durchmesser des Eisenstabes, mit A und B aber

constante Factoren bezeichnet, welche sich mit der Länge und der Windungszahl der Spiralen ändern. Für die Spirale, auf welche sich obige Tabelle bezieht, ist $A = 0{,}016$ und $B = 0{,}00108$. Nach der Gleichung

$$s = 0{,}016\, d^{3/2}\, tang \frac{m}{0{,}00108\, d^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

sind nun für die in der ersten Columne stehenden Werthe von s die zugehörigen Werthe von m berechnet und die Resultate erhalten worden, wie sie in der dritten Verticalreihe obiger Tabelle aufgeführt sind. Die so berechneten Werthe von m stimmen so gut mit den beobachteten überein, dass man wohl berechtigt ist, obige Gleichung für den empirischen Ausdruck des Gesetzes anzunehmen, nach welchem der temporäre Magnetismus eines Eisenstabes von der Stromstärke unter den gegebenen Verhältnissen abhängt, d. h. wenn der Eisenstab in einer Spirale eingeschoben ist, aus welcher er auf beiden Seiten etwas hervorragt.

Waltenhofen wandelt die Formel 1) um in

$$\frac{m}{B d^2} = arc.tang \frac{s}{A d^{3/2}}$$

eine Formel, welche übergeht in

$$\frac{m}{\beta\gamma} = arc.tang \frac{s}{\alpha\gamma^{3/4}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad a)$$

wenn man statt der Stabdurchmesser die in der Regel leichter genau bestimmbaren Gewichte der Stäbe einführt.

Aus Gleichung 1) folgt nun:

1. Für $s = \infty$ ist $\frac{m}{B d^2} = 90^0$, also $m = 90 . B d^2$; für eine unendliche Stromstärke würde demnach der Stabmagnetismus doch nur einen endlichen Werth erhalten; es giebt also für jeden Eisenstab ein absolutes Maximum des Magnetismus, und dieses magnetische Maximum ist dem Quadrate des Durchmessers, also dem Querschnitte des Stabes, proportional.

2. Wenn der Magnetismus verschiedener Stäbe denselben Theil ihres absoluten magnetischen Maximums erreichen soll, so muss man für alle den Werth von $\frac{m}{B d^2}$ gleich setzen; alsdann aber verhalten sich die entsprechenden Werthe von s wie $d^{3/2}$; d. h. um in verschieden dicken Eisenstäben denselben aliquoten Theil ihres magnetischen Maximums zu erzeugen, muss man Ströme anwenden, die sich verhalten wie die Quadratwurzel aus der dritten Potenz der Halbmesser. Wenn also z. B. eine bestimmte Stromstärke in einem Eisenstab einen Magnetismus erzeugt, welcher die Hälfte eines absoluten magnetischen Maximums beträgt, so wird man, um in einem zweimal dickeren Stabe gleichfalls $1/2$ des absoluten magnetischen Maximums zu

erreichen, caeteris paribus einen $\sqrt{2^3}$, also einen 2,83mal stärkeren Strom nöthig haben.

3. So lange $\frac{m}{0{,}00108\, d^2}$ nur einem kleinen Winkelwerthe entspricht, sind s und m ziemlich nahe proportional, und man kann ohne merklichen Fehler

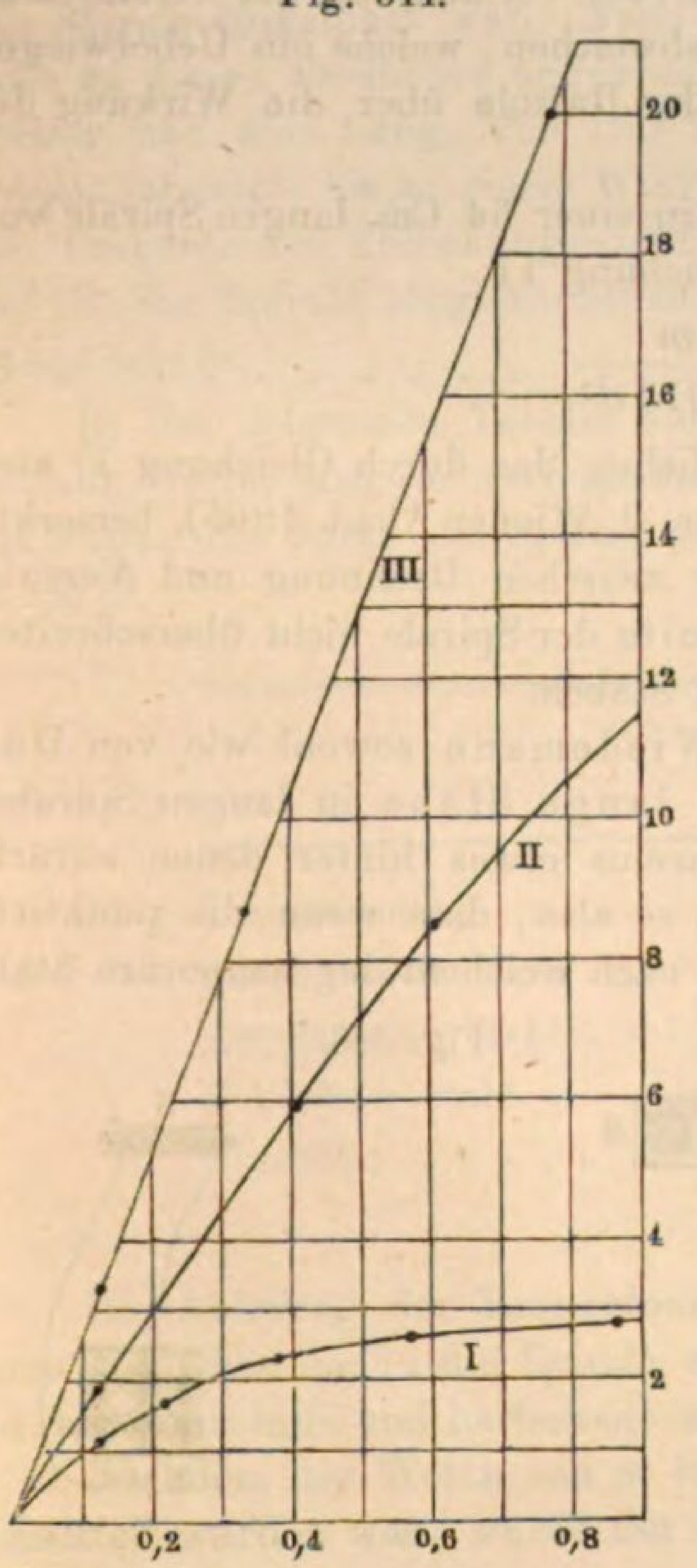
$$s = c\,.\,d^{3/2}\,\frac{m}{d^2}$$

setzen, wo c einen leicht zu ermittelnden constanten Factor bezeichnet; daraus ergiebt sich aber

$$m = \frac{s\,.\,\sqrt{d}}{c};$$

so weit man also den Stabmagnetismus der Stromstärke proportional setzen kann, ist der durch gleiche Ströme in verschiedenen Eisenstäben erzeugte Magnetismus der Quadratwurzel aus dem Stabdurchmesser proportional.

Fig. 344.



Um das Verhältniss anschaulicher zu machen, nach welchem der Stabmagnetismus wächst, wenn die Stromstärke zunimmt, ist es nach der Gleichung (2) in Fig. 344 für unsere drei Stäbe graphisch dargestellt; die Abscissen sind der magnetisirenden Kraft, die Ordinaten sind dem Stabmagnetismus proportional aufgetragen. Die unterste Curve entspricht dem dünnsten, die oberste dem dicksten Eisenstabe. Vergleicht man diese Figur mit den Zahlen der obigen Tabelle, so ist wohl keine weitere Erläuterung zu ihrem Verständniss nöthig.

Wäre das Lenz'sche Gesetz allgemein gültig, so müssten diese drei Curven gerade Linien sein, was nur bei der Curve Nr. III annähernd der Fall ist. Der Anblick der Fig. 344 schon zeigt uns, dass wir mit den Stromstärken, mit denen wir operirten, für den dünnsten Stab dem absoluten magnetischen Maximum

schon sehr nahe gekommen sind, indem die Curve I auf ihrer rechten Seite schon einen fast horizontalen Lauf hat.

Will man bloss zeigen, dass über gewisse Gränzen hinaus der Magnetismus eines Eisenstabes in einem langsameren Verhältniss wächst, als die Stärke des Stromes, welcher ihn umkreist, so ist dazu das folgende von Koosen angegebene Verfahren sehr zweckmässig. Man stelle die Magnetisirungsspirale mit dem Eisenstab nahe bei der Tangentenbussole auf, und leite den Strom so durch die Spirale, dass der Magnetismus des Eisenstabes die Nadel in einer Richtung abzulenken strebt, welche der Richtung der Ablenkung entgegengesetzt ist, welche der den Ring der Tangentenbussole durchlaufende Strom für sich zu erzwingen strebt. Bei geringerer Stromstärke wird nun die Spirale mit dem Stab in solche Entfernung gebracht, dass die Nadel auf dem Nullpunkte stehen bleibt. Wird nun der Strom verstärkt, so müsste die Nadel auf Null bleiben, wenn die Stärke des Elektromagnets in gleichem Verhältniss wächst wie die Stromstärke; bei dünnen Stäben, die von einer genügenden Anzahl von Windungen umgeben sind, sieht man aber bei Vermehrung der Stromstärke die Nadel alsbald in einer Richtung abweichen, welche ein Ueberwiegen der Wirkung des Stromes im Ring der Bussole über die Wirkung des Elektromagnets andeutet.

Für 56 Cm. lange Stäbe, welche in einer 54 Cm. langen Spirale von 780 Windungen stecken, wird die Gleichung 1)

$$s = 0{,}0042\, d^{3/2}\, tang\, \frac{m}{0{,}0015\, d^2} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 3)$$

Waltenhofen fand im Wesentlichen das durch Gleichung 1) ausgedrückte Gesetz bestätigt (Sitzungsber. d. Wiener Akad. 1865), bemerkte übrigens, dass die Uebereinstimmung zwischen Rechnung und Versuch bei Stäben, deren Dicke die halbe Weite der Spirale nicht überschreitet, eine viel genauere ist als bei dickeren Stäben.

Nach den Beobachtungen von Wiedemann sowohl wie von Dub bleiben für schwache Ströme und lange Stäbe in langen Spiralen die Werthe des temporären Magnetismus etwas hinter denen zurück, welche sich aus Gleichung 1) ergeben, so also, dass wenn die punktirte Curve, Fig. 345, das Gesetz darstellt, nach welchem der temporäre Stab-

Fig. 345.

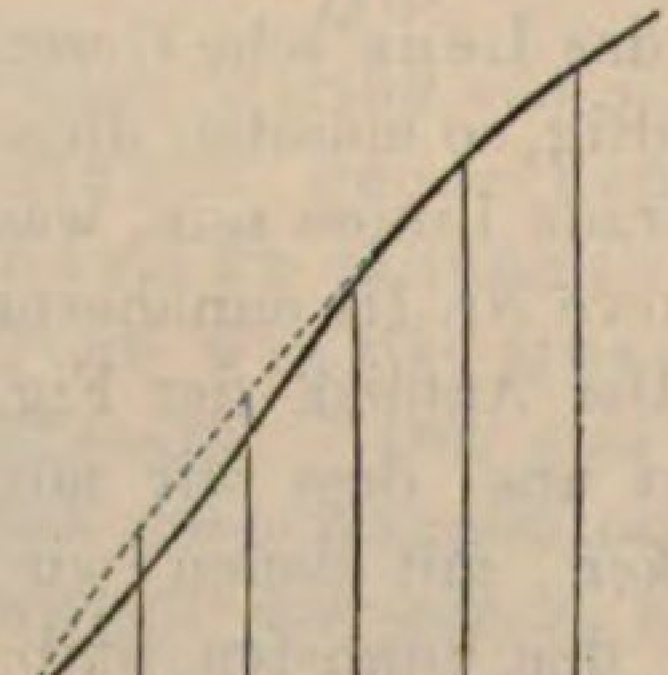
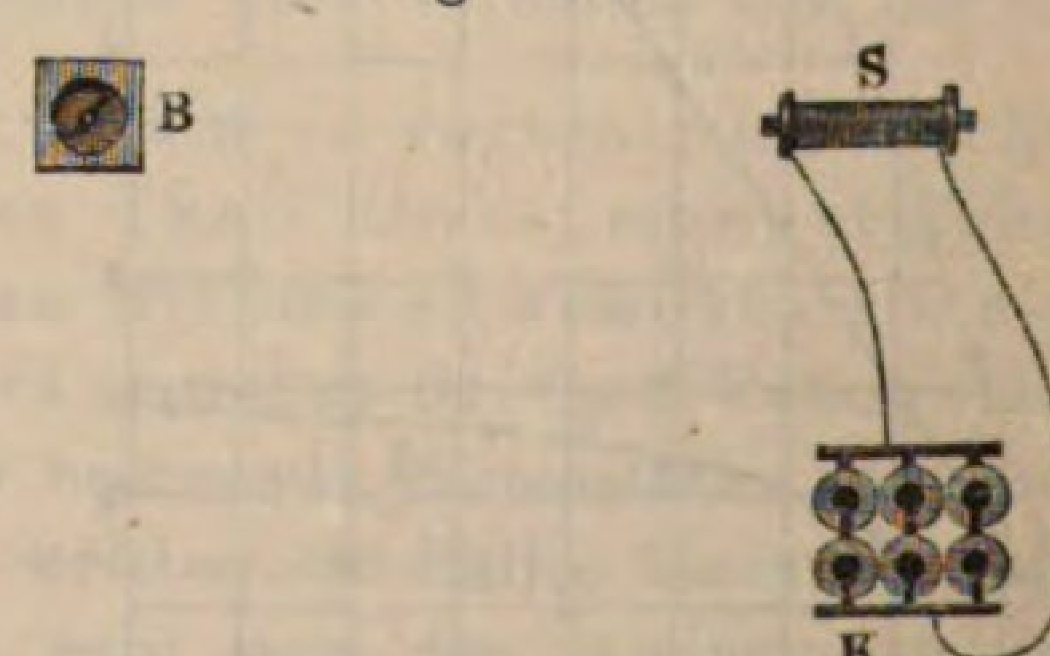


Fig. 346.



magnetismus nach Gleichung 1) zunehmen müsste, das Gesetz der wirklich stattfindenden Zunahme durch die ausgezogene Curve dargestellt wird.

Bei kürzeren Stäben und Spiralen ist diese Abweichung unmerklich, bei längeren tritt sie aber nur für Stromstärken auf, welche geringer sind als die schwächsten, welche in den eben besprochenen Versuchen zur Anwendung kamen.

In ihrem Verhalten gegen den magnetisirenden Einfluss der durchströmten Spirale zeigen weiches Eisen und harter Stahl ganz ähnliche Verschiedenheiten, wie die, welche in §. 4 besprochen wurden. Es geht dies aus der folgenden, von mir angestellten Versuchsreihe hervor:

Oestlich von einer Bussole B, Fig. 346, wurde eine Magnetisirungsspirale von 200 Windungen und 15 Centimeter Länge so aufgestellt, dass die Mitte der Spirale 0,5 Meter von der Mitte der Nadel entfernt war. Die Axe der Spirale stand rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian.

Zunächst wurde die Ablenkung u beobachtet, welche ein die Spirale durchlaufender Strom hervorbrachte, wenn kein Eisen- oder Stahlstab in die Spirale eingeführt war. Nach dem Einschieben eines solchen Stabes (alle zu diesen Versuchen angewandten Stäbe hatten 6 Millimeter Durchmesser und eine Länge von 16,7 Centimeter) wuchs die Ablenkung der Tagentenbussole bis zu einem Winkel v. Es ist also $m = tang\, v - tang\, u$ die Tangente des Ablenkungswinkels, welche der temporäre Magnetismus der in die Spirale eingeschobenen Stäbe für sich allein hervorgebracht haben würde.

In der folgenden Tabelle sind nun die Werthe von m zusammengestellt, welche sich für verschiedene Eisen- und Stahlstäbe ergaben, wenn die Stärke des durch die Spirale gesendeten Stromes der Art war, dass $u = 8^0$.

	m	r	$\frac{r}{m}$
Schmiedeeisen	0,499	0	0
Ausgeglühter Stahl . . .	0,437	0,061	0,14
Angelassener Stahl . . .	0,437	0,123	0,28
Gehärteter Stahl	0,248	0,158	0,55
Gusseisen	0,246	0,017	0,06

Die Ablesung der Tangentenbussole wurde jeweils erst vorgenommen, nachdem die in die Spirale eingeschobenen Stäbe ungefähr 50mal in derselben hin- und herbewegt worden waren.

Nachdem der Werth von m für einen in der Spirale liegenden Stab ermittelt worden war, wurde der Strom unterbrochen und dann die Ab-

lenkung w abgelesen, welche der remanente Magnetismus des Stabes hervorbrachte; die dritte Verticalreihe unserer Tabelle enthält unter r die jedem Stab entsprechenden Werthe von $tang\ w$.

Wir sehen nun aus dieser Tabelle

1. dass bei gleicher magnetisirender Kraft der temporäre Magnetismus des Eisenstabes viel bedeutender ist als der des gehärteten Stahlstabes, dass dagegen

2. der remanente Magnetismus des Stahlstabes sehr bedeutend (55 Procent des temporären), für den Stab aus weichem Eisen aber gleich Null ist.

Bei genauerer Untersuchung findet man, dass selbst im weichen Eisen noch etwas remanenter Magnetismus zurückbleibt.

130 **Reduction der Factoren.** Die Zahlenwerthe der Factoren A und B in den Gleichungen 2) und 3) des vorigen Paragraphen sind noch ganz und gar von der Individualität der Instrumente und des Versuchs behaftet, von denen man sie durch Einführung bestimmter Einheiten für Stromstärke und magnetisches Moment befreien muss.

Die magnetisirende Kraft P, welche auf den Eisenstab einwirkt, erhält man, wenn man die Windungszahl n der Spirale mit der nach chemischem Maass gemessenen Stromstärke multiplicirt. Es ist also

$$P = n \,.\, s \,.\, q,$$

wenn man mit q den Reductionsfactor der Spirale (in unserem Falle $q = 70$) bezeichnet. Daraus ergiebt sich

$$s = \frac{P}{n\,q}$$

und diesen Werth hat man für s in die Gleichung 1) auf Seite 371 einzuführen.

Um das temporäre magnetische Moment des Stabes mit der Schwerkraft vergleichen zu können, muss statt der am Magnetometer abgelesenen Ablenkung m das entsprechende magnetische Moment des Stabes nach der auf Seite 63 definirten Einheit eingeführt werden.

Bezeichnen wir mit ϱ die in Centimetern ausgedrückte Länge des von der Umdrehungsaxe des Magnetometers auf die Scala gefällten Perpendikels, so ist

$$\frac{m}{2\,\varrho} = tang\, v,$$

wenn mit v der Winkel bezeichnet wird, um welchen der Magnetstab des Magnetometers durch den temporären Magnet aus seiner Gleichgewichtslage abgelenkt ist. Das auf Schwerkraft reducirte magnetische Moment M eines Magnetstabes (Seite 63) ist aber

$$M = T \,.\, r^3\, tang\, v = T\,\frac{r^3 m}{2\,\varrho},$$

wenn mit T die Intensität des Erdmagnetismus und mit r die Entfernung

der Mitte der Spirale von der Umdrehungsaxe des Magnetometers bezeichnet wird. Es ist also

$$m = \frac{M.2\varrho}{Tr^3}.$$

Setzen wir nun diese Werthe von s und m in Gleichung 1), so kommt

$$P = n.q.A d^{3/2} \, tang \frac{M.2\varrho}{B.Tr^3 d^2}.$$

Bei unseren Versuchen war $T = 7{,}03$, $\varrho = 2{,}08$ Meter, $r = 2{,}17$ Meter, $q = 70$. Ferner war für die 30 Cm. lange Spirale mit 33 Cm. langen Stäben $n = 380$, $A = 0{,}016$ und $B = 0{,}00108$. Für diese Spiralen und Stäbe wird also die Gleichung

$$P = 425{,}6 \, d^{3/2} \, tang \frac{M}{0{,}00018225 \, d^2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad a)$$

während sich für die 56 Cm. langen Eisenstäbe, welche in einer 54 Cm. langen Spirale von 780 Windungen stecken, ergiebt

$$P = 229 \, d^{3/2} \, tang \frac{M}{0{,}000258 \, d^2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad b)$$

Die Gleichungen a) und b) setzen uns nun in den Stand, zu berechnen, welches das magnetische Moment eines bis zum Maximum magnetisirten Eisenstabes ist. Der grösste Werth, welchen $\frac{M}{0{,}000258 \, d^2}$ in Gleichung b) erlangen kann, ist 90°; daraus folgt aber als Maximum von M der Werth $90 \,.\, 0{,}000258 \, d^2$; die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus den bis zum Maximum magnetisirten Stab zu drehen strebt, wenn er rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian steht, ist aber

$$TM = 7{,}03 \,.\, 90 \,.\, 0{,}000258 \, d^2.$$

Für einen 10 Millimeter dicken Eisenstab der gegebenen Länge ist also

$$TM = 16{,}32,$$

d. h. hätte ein 56 Cm. langer, 10 Mm. dicker Eisenstab das Maximum des Magnetismus erlangt, dessen er überhaupt fähig ist, so würde die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus ihn zu drehen strebt, wenn er rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian steht, gleich sein dem Druck von 16,32 Grammen, welche an einen Hebelarm von 1 Cm. angreifen.

Nach der Gleichung (b) kann man auch leicht berechnen, welche Stromstärke nöthig ist, um einen Eisenstab von 56 Cm. Länge in der besprochenen Spirale von 780 Windungen bis zu einem aliquoten Theile seines absoluten Maximums zu magnetisiren. Man hat nur $\frac{M}{0{,}000258 \, d^2}$ gleich 18°, 36°, 54° u. s. w. zu setzen, um die Stromstärke zu ermitteln, welche nöthig ist, um $^2/_{10}$, $^4/_{10}$, ... $^9/_{10}$ des absoluten Maximums zu erhalten.

Auf diese Weise ist die folgende Tabelle berechnet:

Durchmesser der Eisenstäbe.	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9
5mm	1,1	2,4	4,5	10,0	20,7
10	3,0	6,7	12,8	28,6	58,7
20	8,5	19,1	36,2	80,9	166,0
30	15,7	35,9	66,5	148,6	304,9
50	33,8	75,5	143,0	319,8	656,2

Die erste Verticalreihe enthält die Durchmesser der Stäbe, in den folgenden Verticalreihen findet man dann die Stromstärken angegeben, welche nöthig sind, um die Eisenstäbe bis zu dem aliquoten Theil des absoluten Maximums zu magnetisiren, welch letzterer am Kopf einer jeden Verticalreihe steht. Um einen 5 Mm. dicken Eisenstab auf 0,2 seines absoluten Maximums zu bringen, bedarf man also nur die geringe Stromstärke 1,1, während man die Stromstärke 33,8 anwenden muss, um einen Stab von 50 Mm. Durchmesser bis zu demselben Grade zu magnetisiren. Mit der Stromstärke 20,7 kann man den 5 Mm. dicken Eisenstab schon bis zu 0,9 seines absoluten Maximums magnetisiren; um aber das Gleiche bei dem 50 Mm. dicken zu erreichen, müsste man schon die ungeheure Stromstärke 656 anwenden.

Um ähnliche Aufgaben für 33 Centimeter lange, in einer 30 Cm. langen Spirale steckende Eisenstäbe zu lösen, müsste man die Gleichung a) in Anwendung bringen.

Für Eisenstäbe von 16,7 Cm. Länge, welche in einer 15 Cm. langen Spirale steckten, ergab sich der Factor

$$n.q.A = 2970.$$

Von den Werthen des Factors $n.q.A$ für die Stablängen 56,33 und 16,7 Centimeter ausgehend, habe ich dann auf graphischem Wege die in folgender Tabelle angegebenen Werthe von $n.q.A$ für die beistehenden Stablängen ermittelt:

l	$n.q.A$	l	$n.q.A$
10cm	4800	40cm	348
20	1920	50	240
30	560	80	200

Es versteht sich von selbst, dass obige Werthe des Factors $n.q.A$ nur als erste Annäherungen betrachtet werden können.

Für einen 10 Cm. langen Eisenstab, welcher in einer etwas kürzeren Spirale steckt, hätte man also

$$P = 4800\, d^{3/2} \, tang \, \frac{M}{k\, d^2},$$

wo der Factor k noch unbestimmt bleiben mag.

Nach dieser Formel würde z. B. ein Eisenstab von 10 Cm. Länge und 5 Mm. Durchmesser, in einer Spirale von entsprechender Länge und 200 Windungen steckend, durch die Stromstärke 100 ungefähr bis auf $^1/_5$ seines absoluten Maximums magnetisirt werden können.

Es scheint, dass sich der Factor $n.q.A$ mit wachsender Länge der Eisenstäbe einem Maximum nähert, welches wohl nicht viel unter 200 liegen dürfte. Dieser Grenzwerth ist ohne Zweifel auch für den Fall in Anwendung zu bringen, dass man es mit einem in sich zurücklaufenden, also z. B. mit einem durch einen Anker geschlossenen Hufeisenelektromagnet zu thun hat.

Tragkraft der Elektromagnete. Die Tragkraft eines Elektromagnets ist keine so einfache Function der Dimensionen des Eisenkernes und der magnetisirenden Kraft der Spirale, wie es das magnetische Moment eines Eisenstabes ist; sie hängt noch auf eine keineswegs genügend erforschte Weise von der Masse und der Gestalt des Ankers ab. 131

Dass im Allgemeinen die Tragkraft mit der Masse des Ankers wachsen muss, ist klar.

Barral erhielt mit einem Elektromagnet, dessen Eisenkern 7,8 Kilogramme wog, bei gleicher Stromstärke folgende Resultate:

Gewicht des Ankers.	Tragkraft.
0,2 Kilogrm.	33 Kilogrm.
0,9 „	66 „
2,8 „	183 „
4,8 „	235 „
6,8 „	267 „
9,2 „	295 „

Die Tragkraft nähert sich also einem Maximum, welches nahezu erreicht wird, wenn die Masse des Ankers der Masse des Eisenkerns des Elektromagnets gleich ist.

Dub hat die Tragkraft eines einzelnen Poles an einem cylindrischen Elektromagnet bei cylindrischen Ankern untersucht und gefunden, dass

bei gleichem Querschnitt der Anker die Tragkraft mit der Länge derselben zunimmt, jedoch nur bis zu einem bestimmten Maximum. Bei Ankern von 1 Zoll Durchmesser z. B. wird das Maximum der Tragkraft bei einer Länge von 21 Zoll erreicht; denn bei fernerer Vergrösserung der Länge fand keine Vermehrung der Tragkraft mehr statt.

Dub's Versuche zeigen ferner, dass bei gleicher Stromstärke und gleicher Ankerlänge der dünnere Magnet oft mehr trägt als der dickere. In solchen Fällen bewirkt aber die Verkleinerung der Durchmesser nur deshalb eine Vermehrung der Tragkraft, weil sie mit einer Verkleinerung der Berührungsfläche verbunden ist. So erhielt er z. B. mit einem Elektromagnet von 1 Zoll Durchmesser und 12 Zoll Länge mit verschiedenen 6 Zoll langen Ankern folgende Resultate:

Anker Nro. 1	ganz cylindrisch, 1/2 Zoll Durchmesser	4,8 Pfund Tragkraft.
Anker Nro. 2	ganz cylindrisch, 1 Zoll Durchmesser	3,3 „ „
Anker Nro. 3	1 Zoll Durchmesser, oben konisch verjüngt, so dass die Berührungsfläche 1/2 Zoll Durchmesser hatte .	7,0 „ „

Da mit wachsender Stromstärke die magnetische Erregung dünnerer Eisenkerne sich sehr bald einem Maximum nähert, so ist klar, dass auch die Tragkraft dünnerer Elektromagnete, seien sie nun gerade oder hufeisenförmig gekrümmt, sich rasch einem Maximum nähern muss, wie ich dies auch durch folgende mit dem Apparat Fig. 335, Seite 365 angestellte Versuche bestätigt habe.

Die geraden Schenkel des U-förmig gebogenen Eisens hatten eine Länge von 16,5 Centimetern und waren 6,5 Millimeter dick. Auf jeden Schenkel war eine Magnetisirungsspirale von 14 Centimeter Länge geschoben, welche durch 246 in zwei Lagen über einander gewickelte Windungen gebildet wurde. In den Schliessungsbogen war eine Tangentenbussole eingeschaltet. Es ergaben sich folgende zusammengehörige Ablenkungen und Tragkräfte:

Ablenkung.	Tragkraft.
2,5°	2300 Gramm
4,1°	3100 „
5,5°	3700 „
6,4°	4000 „
9,5°	4600 „
14,0°	5200 „
19,0°	5400 „

Während also die Stromstärke ungefähr im Verhältniss von 1 zu 8 wuchs, nahm die Tragkraft nur im Verhältniss von 1 zu 2,35 zu.

Als die Spiralen mit anderen vertauscht wurden, welche bei gleicher Windungszahl nur halb so lang waren (vier Lagen), wurde bei gleicher Stromstärke nahezu dieselbe Tragkraft erhalten wie vorher.

Ein Grund, warum die Tragkraft hufeisenförmiger Elektromagnete sich noch weit rascher ihrem Maximum nähert als das magnetische Moment gleich langer Eisenstäbe, liegt, wie Poggendorff gezeigt hat, darin, dass durch die Rückwirkung des Ankers auf den Elektromagnet noch eine bedeutende Erhöhung seiner magnetischen Erregung stattfindet. Um dies nachzuweisen, schob er über die Magnetisirungsspirale noch eine zweite (Inductions-) Spirale, in deren Schliessungsbogen irgend ein Rheometer eingeschaltet war. In dem Moment nun, in welchem der Strom durch die Magnetisirungsspirale zu gehen beginnt und der Eisenkern magnetisch wird, wird, wie wir im nächsten Capitel sehen werden, in der zweiten Spirale ein Strom inducirt, dessen Stärke dem im Eisenkern erregten Magnetismus proportional ist. Durch diesen Inductionsstrom ist es also möglich, die Stärke des Magnetismus im Eisenkern zu messen.

Bei Anwendung eines schwachen Stromes ergab sich z. B. auf diese Weise, dass die magnetische Erregung des Eisenkernes 7,3mal so stark war, wenn das Hufeisen durch den Anker geschlossen wurde, als wenn der Anker fehlte.

Durch diese Rückwirkung des Ankers wird also natürlich der Magnetismus des Eisenkernes weit rascher seinem Maximum entgegengeführt, als es ausserdem der Fall sein würde. Klar ist auch, dass die Rückwirkung des Ankers für schwache Ströme verhältnissmässig weit bedeutender sein muss als für stärkere.

Wenn bei vorgelegtem Anker der magnetisirende Strom unterbrochen wird, so verliert der Elektromagnet keineswegs seinen ganzen Magnetismus, wie es der Fall sein würde, wenn der Anker fehlte. Vermöge dieses remanenten Magnetismus (magnetisches Residuum) wird der Anker immer noch mit einer namhaften Kraft angezogen und der Magnetismus des Eisens verliert sich erst vollständig, wenn man den Anker abreisst.

Wenn elektromagnetische Pole einander gegenüberstehen, ohne sich zu berühren, so wird ihre gegenseitige Anziehung oder Abstossung dem Product ihrer Magnetismen proportional sein. Ist es nun derselbe Strom, welcher beide Elektromagnete umkreist, und sind die Eisenkerne dick genug, um ihren Magnetismus der Stromstärke proportional setzen zu können, so ist klar, dass die gegenseitige Anziehung oder Abstossung der beiden Pole dem Quadrate der Stromstärke proportional sein wird.

Vertheilung des Magnetismus im Querschnitte der Eisenstäbe. Feilitzsch hat nachgewiesen, dass der Magnetismus 132

durchaus nicht gleichförmig im Querschnitte der Elektromagnete vertheilt ist, sondern dass die äusseren Schichten einen stärkeren Magnetismus zeigen als die inneren, dass bei schwacher magnetisirender Kraft nur in den äusseren Schichten eine magnetische Erregung stattfindet (Poggendorff's Annalen Bd. LXXX, S. 321).

Die Magnetisirungsspirale, die er zu seinen Versuchen anwandte, war 102 Millimeter lang und war aus 176 Windungen eines $1^3/_4$ Millimeter dicken Drahtes gebildet (vier Lagen, jede zu 44 Windungen). In die Höhlung derselben wurde eine Reihe aus Eisenblech verfertigter Cylinder gesteckt, von welchen immer einer genau in den andern passte. Der äusserste hatte einen Durchmesser von 31, der innerste, d. h. der siebente, hatte einen Durchmesser von 19 Millimetern. Die Blechdicke betrug etwas mehr als $^1/_2$ Millimeter. Sämmtliche Cylinder waren 110 Millimeter lang. Während ein Strom von bestimmter Stärke die Windungen durchlief, wurde nun erst der weiteste Cylinder eingeschoben und die Stärke seines Magnetismus bestimmt; dann der zweite in den ersten und nun die Bestimmung des Magnetismus der beiden Hülsen vorgenommen; darauf wurde die dritte Hülse hinzugefügt u. s. w.

Die folgende Tabelle enthält einen Theil der Resultate einer solchen Versuchsreihe.

Stromstärke.	Nummer der gleichzeitig eingeschobenen Eisencylinder.	Gesammtmagnetismus der Cylinder.	Nummer der einzelnen Cylinder.	Magnetismus in denselben.
2,975	1	4,742	1	4,742
	1 + 2	6,604	2	1,961
	1 + 2 + 3	7,024	3	0,420
	1 + 2 + 3 + 4	7,199	4	0,175
8,510	1	6,347	1	6,347
	1 + 2	11,413	2	5,066
	1 + 2 + 3	15,500	3	4,087
	1 + 2 + 3 + 4	18,453	4	2,935
	1 + 2 + 3 + 4 + 5	20,019	5	1,566
	1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6	20,800	6	0,781
	1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7	21,135	7	0,335

Diese Tabelle ist wohl ohne weitere Erläuterung verständlich, und da es ja hier nur um Verhältnisszahlen zu thun ist, so ist es auch nicht nöthig, die Einheiten näher zu definiren, auf welche sich die Werthe der Stromstärke und des Magnetismus beziehen.

Aus den Zahlen dieser Tabelle lassen sich nun leicht folgende Schlüsse ziehen:

1) Der Magnetismus dringt um so tiefer in das Eisen ein, je stärker die magnetisirende Kraft der Spirale ist.

2) Jede Schicht des weichen Eisens hat einen Sättigungspunkt, und diesem Sättigungspunkte nähern sich die äussersten Schichten am schnellsten. Bei schwächeren magnetisirenden Kräften bleibt der Kern ganz unmagnetisch.

Magnetische Wirkungen der Reibungselektricität. Um 133
eine Ablenkung der Magnetnadel durch Reibungselektricität hervorzubringen, muss man einen Multiplicator von sehr vielen Windungen anwenden, die möglichst isolirt sein müssen, was am besten dadurch erreicht wird, dass jede Lage von Drahtwindungen mit Schellackfirniss angestrichen, und die folgende Lage erst aufgewickelt wird, wenn er genügend getrocknet ist.

Wird nun das eine Drahtende eines solchen Multiplicators mit dem Conductor, das andere mit dem Reibzeug einer Elektrisirmaschine in leitende Verbindung gebracht, so kann man beim Drehen derselben eine Ablenkung von 10 bis 20 Graden erhalten.

Wenn durch den Entladungsstrom einer Leydener Flasche oder einer Flaschenbatterie die Nadel eines Multiplicators abgelenkt werden soll, so muss man die Entladung durch Einschaltung schlechter Leiter, etwa feuchter Schnüre oder mit Wasser gefüllter Glasröhren u. s. w., verzögern.

Stahlnadeln können dadurch magnetisirt werden, dass man den Entladungsschlag einer Batterie in vielen Windungen um sie herumführt. Eine Spirale, welche zur Magnetisirung mit Reibungselektricität dienen soll, erhält man am besten, wenn man den Draht in 50 bis 100 wohl isolirten Windungen auf eine Glasröhre aufwickelt, in welche man die zu magnetisirenden Nadeln (am bequemsten sind Nähnadeln zu diesen Versuchen) hineinlegt. Die Entladung darf übrigens bei diesen Versuchen nicht verzögert werden.

Für schwächere Ladungen der Batterien werden die Nadeln normal, d. h. dem Ampère'schen Gesetze entsprechend magnetisirt, allein nicht immer entspricht einer stärkeren Ladung auch eine stärkere Magnetisirung, und wenn die Ladung über eine gewisse Gränze hinaus getrieben wird, so finden sogar anormale Magnetisirungen statt, d. h. die Polarität der Nadel zeigt sich derjenigen entgegengesetzt, welche man nach dem Ampère'schen Gesetz hätte erwarten sollen.

Mit Versuchen über die Magnetisirung durch den Entladungsschlag der Batterie haben sich besonders Savary, Riess und Hankel beschäftigt.

Beziehungen zwischen Torsion und Magnetismus. Schon 134
in §. 17 haben wir den Einfluss kennen gelernt, welchen mechanische Erschütterungen auf den Magnetismus von Stahlstäben ausüben, welche

unter dem Einfluss magnetisirender Kräfte stehen. In ähnlicher Weise wie Erschütterungen wirkt auch, wie Matteucci sowohl wie auch Wertheim gezeigt haben, die Torsion der Stahlstäbe. Am gründlichsten hat Wiedemann die Beziehungen und Analogien zwischen Torsion und Magnetismus untersucht. Die wichtigsten der von ihm hierüber zusammengestellten Sätze sind folgende:

Torsion.	Magnetismus.
1. Erschütterungen während der Einwirkung eines tordirenden Gewichtes vermehren die Torsion eines Drahtes.	1. Erschütterungen während der Einwirkung eines magnetisirenden Stromes vermehren den Magnetismus des Stahlstabes.
2. Die permanente Torsion eines Drahtes wird nach Wegnahme des tordirenden Gewichtes durch Erschütterungen vermindert.	2. Der permanente Magnetismus eines Stahlstabes wird nach der Unterbrechung des magnetisirenden Stromes durch Erschütterungen vermindert.
3. Die permanente Torsion der Eisendrähte nimmt durch ihre Magnetisirung ab.	3. Der permanente Magnetismus der Stahlstäbe nimmt durch ihre Torsion ab.
4. Wird ein Draht magnetisirt, während er unter dem Einfluss eines tordirenden Gewichtes steht, so nimmt seine Torsion bei schwacher Magnetisirung zu, bei stärkerer nimmt sie wieder ab.	4. Wird ein Stahlstab tordirt, während er unter dem Einfluss eines magnetisirenden Stromes steht, so nimmt sein Magnetismus bei schwacher Torsion zu, bei stärkerer nimmt er wieder ab.
5. Leitet man durch einen magnetisirten Eisendraht einen Strom oder magnetisirt man einen Eisendraht, durch den man einen Strom geleitet hat, so tordirt er sich.	5. Tordirt man einen Eisendraht während oder nach dem Durchleiten eines galvanischen Stromes, so wird er magnetisch.

Ausführlicheres über diesen Gegenstand findet man im 2ten Theile von Wiedemann's Lehre vom Galvanismus und Elektromagnetismus.

135 **Galvanisches Tönen.** Die Magnetisirung des Eisens durch eine galvanische Spirale ist oft von einer eigenthümlichen Tonbildung begleitet. Die erste hierher gehörige Beobachtung wurde von Page im Jahre 1837 gemacht. Nach ihm wurde das galvanische Tönen des Eisens von Marrian, de la Rive, Wertheim und neuerdings von Buff untersucht (Annal. d. Chem. u. Pharm. III. Supplementband).

Wenn man einen Eisenstab mit einer Drahtspirale umgiebt und durch diese einen starken elektrischen Strom leitet, so hört man bei jeder Schliessung oder Unterbrechung des Stromes ein kurzes Geräusch, welches mehr einem Geklirr als einem musikalischen Klange ähnlich ist.

Hat man jedoch zu diesem Versuche einen Stab von geringer Dicke gewählt, dessen eines Ende oder dessen Mitte in einem Stege eingespannt ist, welcher auf einem Resonanzboden aufsitzt, so wird neben dem knarrenden Klirrgeräusche ein Ton von bestimmter Höhe wahrgenommen.

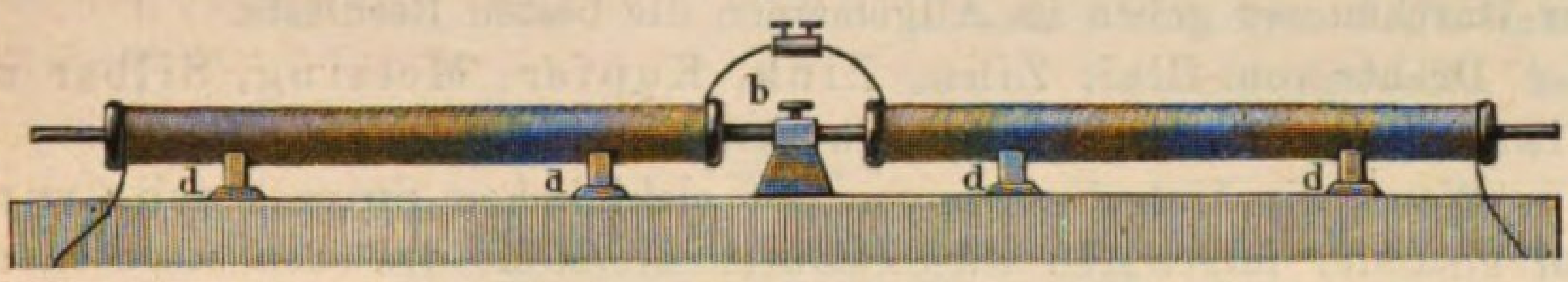
Um ein rasch auf einander folgendes Oeffnen und Schliessen des Stromes zu bewirken, kann man irgend einen der später zu besprechenden Stromunterbrecher anwenden, und zwar am besten einen Quecksilberunterbrecher, der nicht selbst ein merkliches Geräusch macht. Wenn der Stromunterbrecher ein störendes Geräusch macht, so muss er in einem Nebenzimmer aufgestellt und durch eine Drahtleitung in den Schliessungsbogen eingeschaltet werden.

Schon Marrian beobachtete, dass der Ton, welchen die Eisenstäbe unter diesen Umständen hören lassen, der Longitudinalton derselben ist. Er ist unabhängig von der Geschwindigkeit, mit welcher die Unterbrechungen auf einander folgen.

Wertheim hat dies bestätigt. Er fand, dass bei gleicher Länge die Form und Grösse des Querschnitts keinen Einfluss auf die Höhe des Tones habe, dagegen hörte er bei vier Stäben von 2,0, 1,6, 1,333 und 1 Meter Länge nacheinander den Grundton, die Terz, die Quint und die Octav.

Fig. 347 stellt den von Wertheim angewandten Apparat dar. Der

Fig. 347.



Eisen- oder Stahlstab muss in der Höhlung der Magnetisirungsspirale stecken, ohne die Wände derselben zu berühren.

Bei dünneren Stahlstäben ist das Klirrgeräusch weniger stark, der Ton aber weit reiner und stärker, als bei eisernen Stäben von gleichen Dimensionen.

Es gelingt zwar nicht, den begleitenden Klirrton ganz zu beseitigen, doch fand Buff, dass er merklich zurücktritt, wenn man den Stab nicht seiner ganzen Länge nach mit Drahtwindungen umgiebt, sondern eine nur 10 bis 15 Centimeter lange Rolle nahe an seinem freien Ende anbringt. Die besten Resultate erhielt er mit einem 126 Centimeter langen, nur 5 Millimeter dicken Stahlstab, welcher in der Mitte auf einem Resonanzboden eingespannt und nur auf 12 Centimeter seiner Länge mit einer Drahtrolle umgeben war.

Stäbe von Zink, Kupfer, Messing, Glas u. s. w. geben selbst mit Säulen von 20 Bunsen'schen Elementen keinen Ton.

Befindet sich der Stab ausserhalb der Axe der Spirale, so ist der longitudinale Ton weniger rein und von Querschwingungen begleitet, die schon dem blossen Auge sichtbar sind; allein diese Schwingungen geben

einen so schwachen Transversalton, dass man ihn nicht anders hören kann, als wenn man das Ohr auf das den Apparat tragende Brett legt.

Der Ton bleibt sich gleich, es mag der Strom in gleichem oder entgegengesetztem Sinne die beiden Hälften des Stabes umkreisen, oder endlich nur auf eine Hälfte oder irgend einen Theil des Stabes wirken, sobald nur dieser Theil hinlänglich vom Einspannungspunkt entfernt und der Strom hinlänglich stark ist.

Aehnliche Resultate wurden mit Eisen- und Stahldrähten erhalten, welche in der Axe der Magnetisirungsspirale ausgespannt waren. — Wertheim wandte Drähte von 0,5 bis 3 Millimeter Dicke an. Sobald die Spannung so stark war, dass der am Draht hinabgeführte Violinbogen nur den Längston ohne ein anderes Geräusch vernehmen liess, war der vom unterbrochenen Strom erregte Ton auch ganz rein; wenn aber die Spannung vermindert wird, ist sowohl der vom Violinbogen als auch der durch den Strom erzeugte Ton von einem anderen Geräusch begleitet. Dieses Geräusch ist nicht bloss der Querton, sondern ein ganz eigenthümliches, schwer bestimmbares Geräusch, gewissermaassen ein dem Draht entlang laufendes Geklirr, welches vorzugsweise bei rasch aufeinander folgenden Unterbrechungen merklich wird. Bei dünnen Drähten ist dieses Geräusch schwer zu beobachten, während der Längston selbst bei schwachen Spannungen andauert. — Wohl angelassene Drähte von 1 Millimeter Durchmesser geben im Allgemeinen die besten Resultate.

Drähte von Blei, Zinn, Zink, Kupfer, Messing, Silber und Platin geben, nach Wertheim's Versuchen, keinen Ton.

Wenn die Unterbrechungen des elektrischen Stromes sehr rasch auf einander folgen, so wird dadurch die Höhe des eben besprochenen magnetischen Tones zwar nicht geändert, aber es tritt dann gleichzeitig noch ein anderer Ton auf, welcher von der Summe der gegen die Eisenatome ausgeübten magnetischen Stösse abhängig ist und gleiche Höhe mit demjenigen hat, welchen der Unterbrechungsapparat selbst bietet.

Diesen Ton, welcher neben dem knarrenden Klirrgeräusch namentlich dann auftritt, wenn der magnetische Longitudinalton des Stabes durch die Art seiner Einklemmung unterdrückt ist, hat Reis zur Construction seines Telephons benutzt.

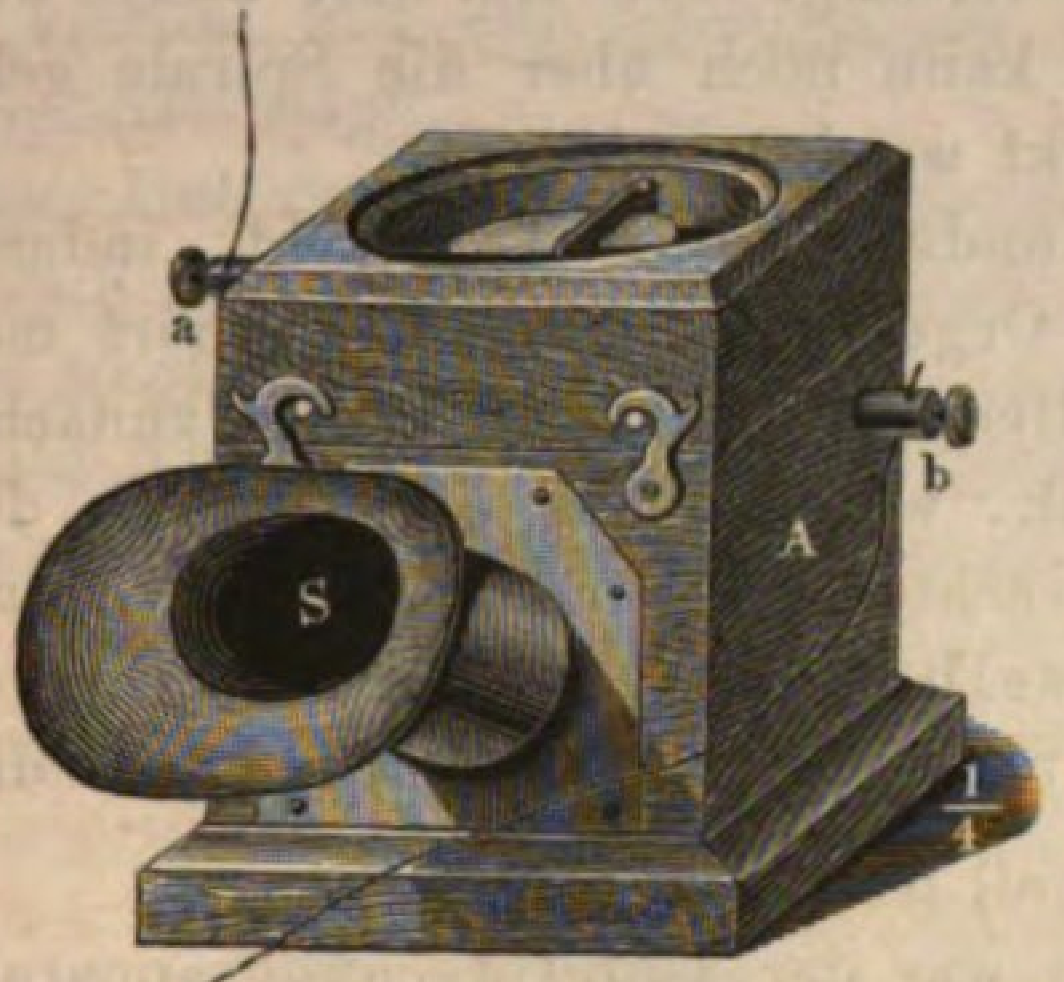
Fig. 348 stellt den Reis'schen Unterbrechungsapparat dar. In dem Deckel des hölzernen Hohlwürfels A ist eine kreisförmige Oeffnung angebracht, welche durch eine darüber gespannte elastische Membran (Schweinsdünndarm) geschlossen ist. Auf die Mitte dieser Membran ist ein kleines Platinplättchen aufgekittet, welches durch ein ganz dünnes Metallstreifchen f (deutlicher in Fig. 349 sichtbar) mit der Klemmschraube a in leitender Verbindung steht.

Auf der Mitte des Platinplättchens ruht ein kurzes Platinstiftchen, welches bei g an der unteren Seite des Blechstückes hgi befestigt ist, dessen eines Ende h auf dem Metallsäulchen l ruht, während ein an seiner Unterseite bei i befestigtes Platinstiftchen in eine etwas Quecksilber ent-

haltende Höhlung des Metallsäulchens k eingetaucht ist. — Mit dem Metallsäulchen k steht die Klemmschraube b in leitender Verbindung.

Von dem einen Pol der Batterie geht nun ein Leitungsdraht zur Klemmschraube a des Unterbrechungsapparates, Fig. 348, vom anderen Pol derselben geht ein Draht zur Klemmschraube d des sogleich zu besprechenden Reproductionsapparates, Fig. 350. Die Klemmschraube c dieses Apparates wird durch einen Draht mit b, Fig. 348, verbunden. Die Klemmschrauben c und d sind mit den Drahtenden der kleinen Magnetisirungsspirale M, Fig. 350, verbunden; bei der eben besprochenen Verbindung geht also der Strom der Stromquelle durch die Spirale M hindurch.

Fig. 348.



Sobald nun die Schallwellen eines hinlänglich kräftigen Tones durch die Mündung S in den Hohlwürfel A eintreten, wird die elastische Membran, welche denselben oben schliesst, in Vibrationen versetzt. Jede eintretende Verdichtungswelle hebt

Fig. 349.

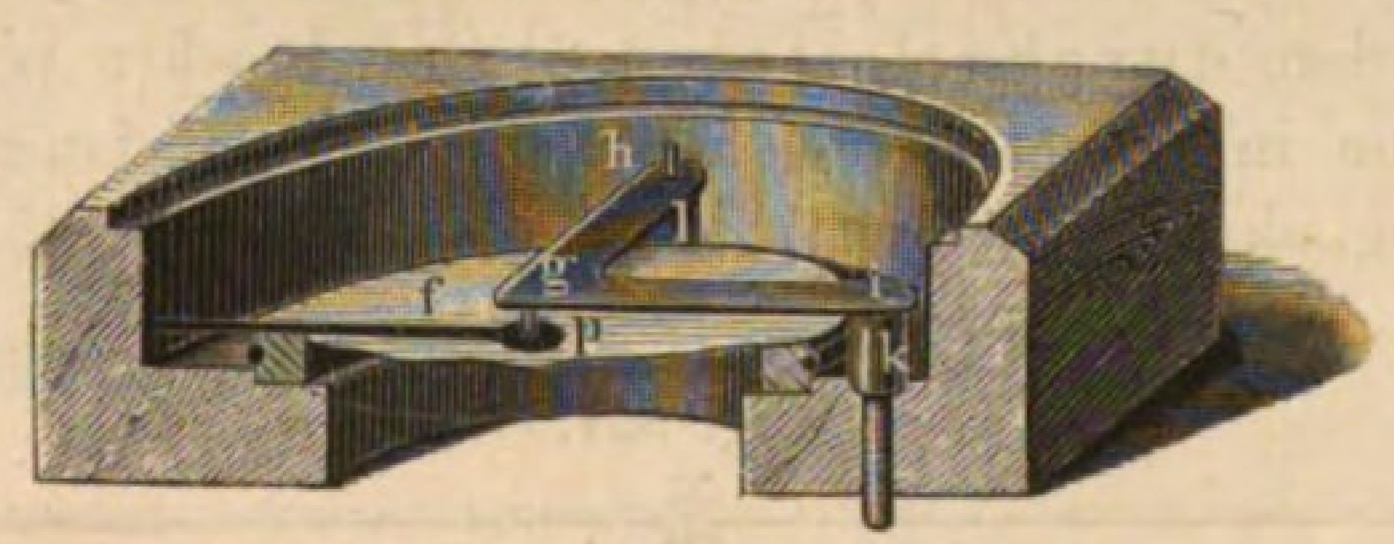
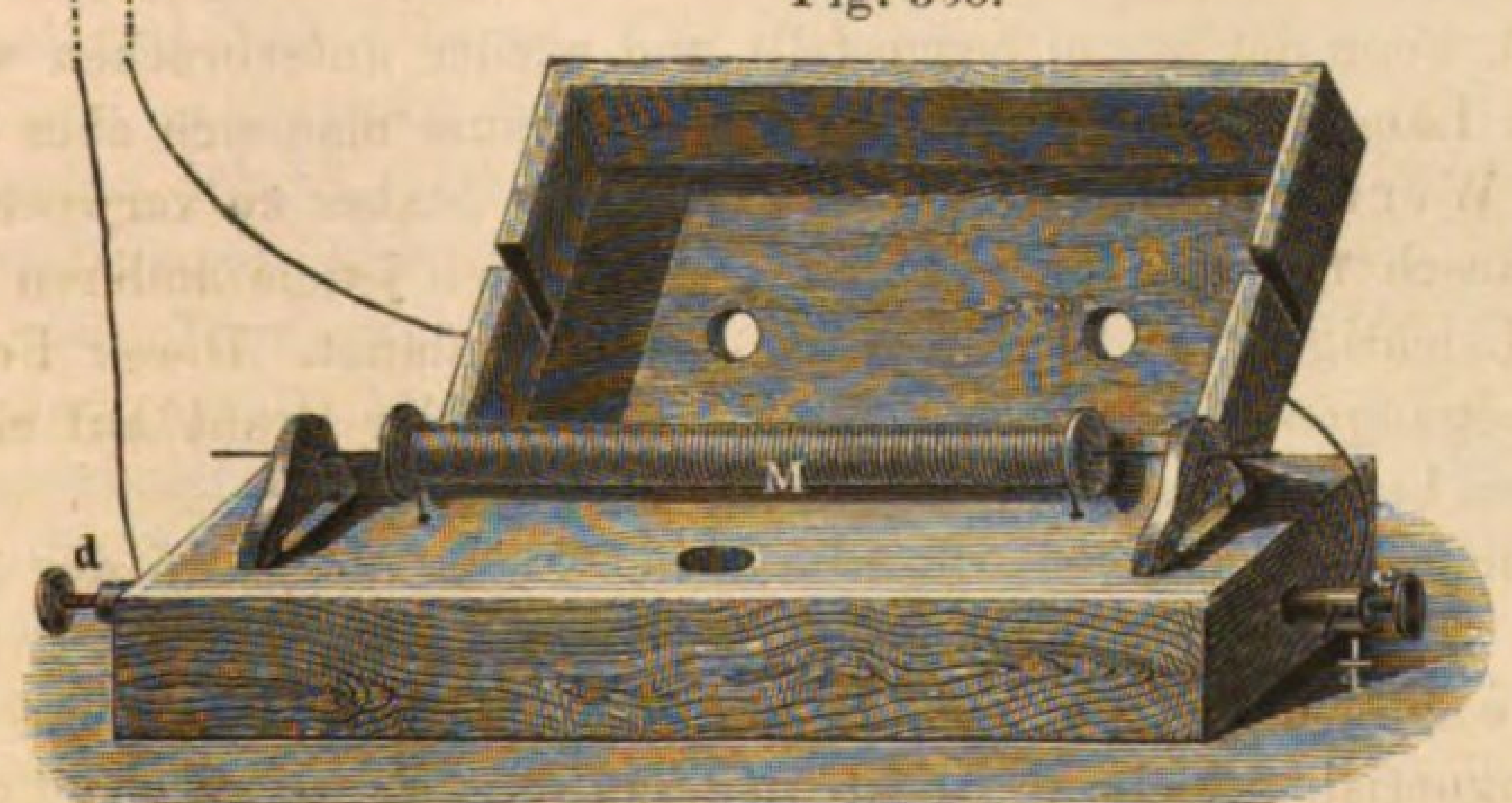


Fig. 350.



das Platinplättchen sammt dem darauf sitzenden Stiftchen; wenn aber die Membran nach unten schwingt, kann das Blech *hgi* mit dem bei *i* befestigten Stiftchen nicht schnell genug folgen, es entsteht also hier bei jeder Vibration der Membran eine Unterbrechung des Stromes, welche sich auch durch ein an der Unterbrechungsstelle auftretendes Fünkchen zu erkennen giebt.

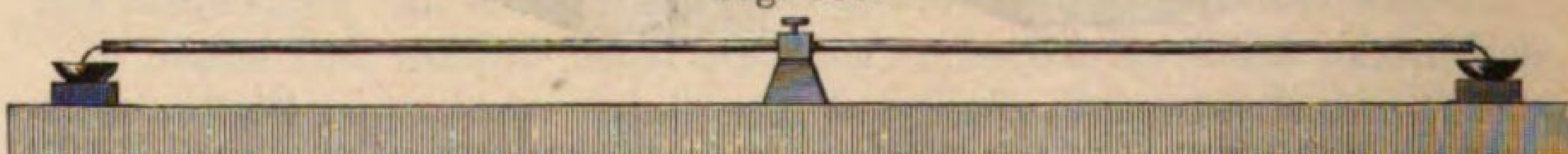
In der Spirale *M* steckt nun ein Strickdraht, welcher, wie die Figur zeigt, auf einem Resonanzboden befestigt ist. Ein mit einem zweiten Resonanzboden versehener Deckel kann noch über die Spirale geklappt und dadurch der Ton sehr verstärkt werden.

Werden nun Töne vor der Mündung *S* hervorgebracht, indem man in dieselbe singt oder indem man Orgelpfeifen anbläst, so hört man an dem möglichst entfernt aufgestellten Reproductionsapparat zunächst ein eigenthümlich knarrendes Geräusch, welches von der Tonhöhe der am Unterbrechungsapparat hervorgebrachten Töne unabhängig ist, ausserdem werden aber diese Töne selbst durch den Stahldraht deutlich wahrnehmbar reproducirt, und zwar fand Reis dass dies für alle Töne zwischen F und $\bar{\bar{f}}$ der Fall ist.

Bei den Versuchen von Reis war der Unterbrechungsapparat 300 Fuss weit von der Spirale, und zwar in einem anderen Hause bei verschlossenen Thüren aufgestellt. Da nun aber die Länge des Leitungsdrahtes eben so weit ausgedehnt werden kann wie bei directer Telegraphie, so gab Reis seinem Apparat den Namen Telephon (Jahresbericht des physikalischen Vereins zu Frankfurt a. M. für 1860/61).

Auch mit dem durchgeleiteten Strom brachte Wertheim Töne hervor. Um sie in einem Eisenstabe zu erzeugen, befestigte er einen dünnen Messinghaken an jedem Ende des Stabes, Fig. 351, und tauchte dieselben in Quecksilbernäpfchen.

Fig. 351.



Jedesmal, wenn der Strom hergestellt und wieder unterbrochen wird, hört man den Längston. „Bei diesen Versuchen muss man sich aber sehr hüten,“ sagt Wertheim, „den eigenen Ton des Stabes zu verwechseln mit dem Geräusch des Funkens, welches sich gleich jedem anderen Ton mit grosser Leichtigkeit durch starre Körper fortpflanzt. Dieser Fehler wird leicht begangen, besonders wenn der Stab oder Draht auf einem Resonanzboden befestigt ist.“

Bei gleichem Strom nimmt die Stärke des Tones ab, wenn der Stab dicker ist.

Nach Wertheim's Untersuchungen erfährt der Eisenstab im Momente der Magnetisirung eine sehr kleine Verlängerung, welche ohne Zweifel die Ursache der Tonbildung ist. Diese Verlängerung ging selten

über 0,002 Millimeter, und war, obwohl deutlich sichtbar, doch fast unmessbar.

Nach Joule's Messungen beträgt die Verlängerung eines bis zur Sättigung magnetisirten Eisenstabes $^1/_{270000}$ seiner Länge.

Ein ähnliches Tönen beobachtete Poggendorff (Annal. Bd. XCVIII), als er eine kräftige Magnetisirungsspirale (die seinige war aus einem ungefähr 100 Fuss langen und $1^1/_2$ Millimeter dicken Kupferdraht gebildet) mit einem Cylinder von Eisenblech umgab. Die Axe der Drahtspirale stand vertical und der Blechcylinder war darüber geschoben, ungefähr wie Fig. 352 zeigt.

Zur Unterbrechung des Stromes wurde ein Wagner'scher Hammer von möglichst leisem Gang angewandt, dessen Beschreibung im nächsten Capitel folgt.

Das Tönen des Eisencylinders erfolgt, mag nun der Cylinder vollkommen metallisch geschlossen sein oder nicht; in letzterem Falle wird aber der Ton sogleich weit kräftiger, oder vielmehr es scheint zu dem ersten noch ein neuer Ton hinzuzukommen, wenn man die Ränder des verticalen Spaltes *ab* mit einander in Berührung bringt.

Fig. 352.



Wendet man statt der eisernen Hohlcylinder andere von nicht magnetischen Metallen, z. B. von Zink, von Messing u. s. w. an, so ist kein Ton zu hören, wenn der Cylinder durch Zusammenlöthen der Ränder metallisch geschlossen oder wenn er ganz offen ist; sobald aber die Ränder des Spaltes in Berührung gebracht werden, lässt sich jedesmal bei der Unterbrechung des Stroms in der Spirale ein eigenthümliches Ticken hören. Der Ton ist am stärksten, wenn die Ränder nur lose an einander liegen; er wird schwächer, wenn man sie fest gegen einander drückt. Zur Hervorbringung der Erscheinung genügt ein einziger Bunsen'scher Becher.

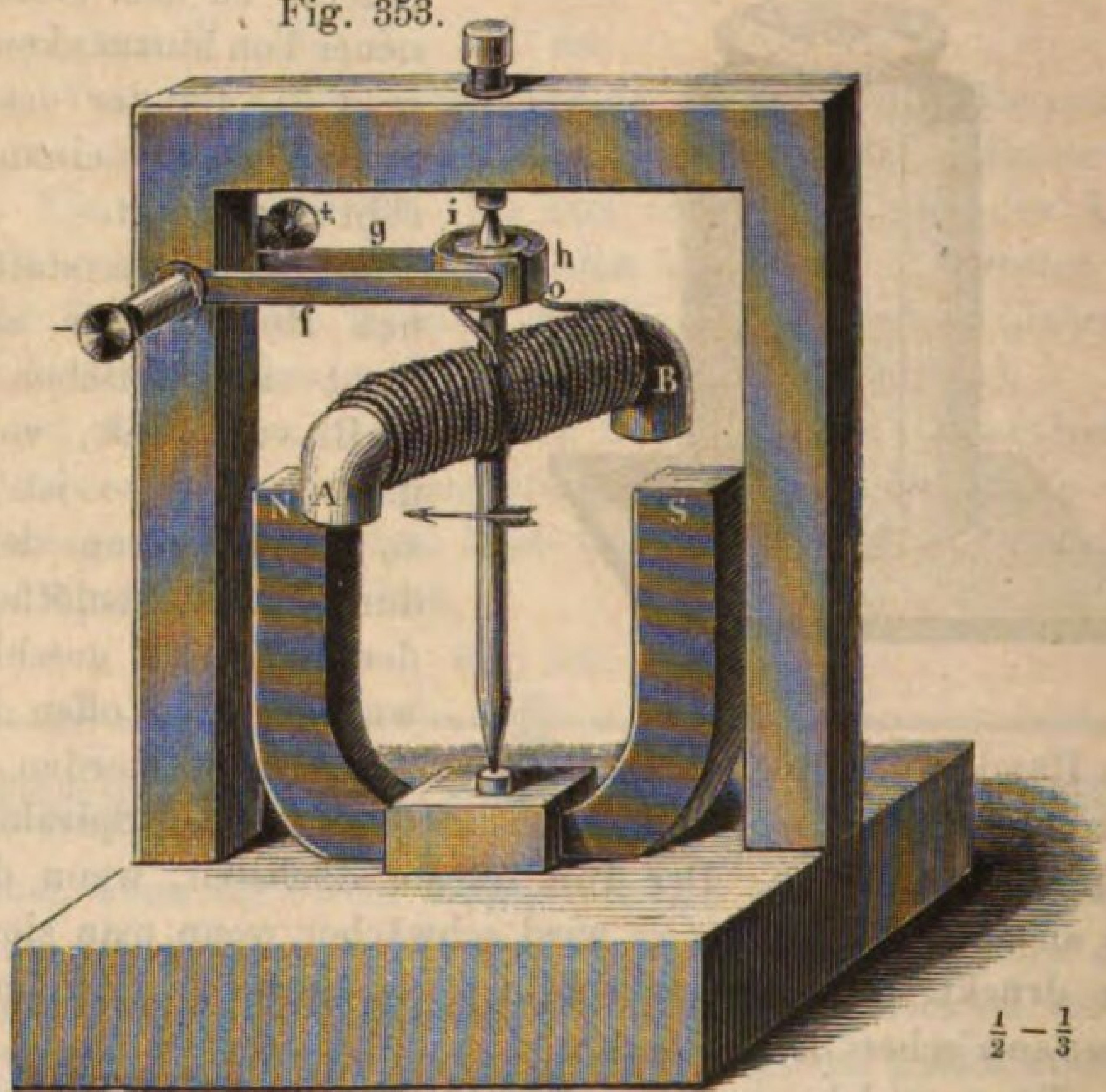
Die Töne, welche man von Metallröhren mit einander berührenden Rändern erhält, werden offenbar durch die (erst im sechsten Capitel zu besprechenden) Inductionsströme hervorgerufen, welche die Unterbrechung des die Spirale durchlaufenden Stromes in der Masse der Metallhülsen erzeugt. Für die Richtigkeit dieser Ansicht spricht auch der Umstand, dass alles, was den Inductionsstrom verstärkt, also auch namentlich das Einschieben eines Bündels von Eisendrähten in die Höhlung der Spirale, den Ton lauter macht.

136 **Benutzung des Elektromagnetismus als Triebkraft.** Die kräftigen Anziehungs- und Abstossungserscheinungen, welche man an Elektromagneten beobachtet, führten auf den Gedanken, dieselben zum Betriebe von Maschinen zu verwenden. Dal Negro construirte bereits im Jahre 1834 einen kleinen Apparat der Art, welcher in der Minute 180 Gramm 1 Meter hoch hob. In Deutschland war Jacobi der Erste, welcher einen elektromagnetischen Motor construirte. Er publicirte die Beschreibung desselben im Jahre 1835.

Im Wesentlichen gründen sich alle die hierher gehörigen Apparate darauf, dass, nachdem die durch eine magnetische Anziehung hervorgebrachte Bewegung vollendet ist, durch Stromwechsel, also durch Umkehrung der einen Polarität, wieder eine Abstossung erzeugt und sofort durch jeweilige Umkehrung der Polarität eine continuirliche Bewegung hervorgebracht wird.

Die Grundidee der elektromagnetischen Motoren lässt sich am bequemsten durch Ritchie's rotirenden Elektromagneten anschaulich machen, welcher mit einigen Modificationen Fig. 353 abgebildet ist.

Fig. 353.



Ein Uförmiger Stahlmagnet ist auf einem Brette so befestigt, dass er vertical steht und seine Pole nach oben gerichtet sind. In der Mitte zwischen den beiden Schenkeln desselben befindet sich eine verticale stählerne Axe, welche in Spitzen läuft, und an welcher ein horizontaler Elektromagnet befestigt ist, dessen Pole bei der Rotation um die verticale Axe gerade über den Polen des Stahlmagnets hinweggehen. Gerade über dem Elektromagnet ist auf der stählernen Axe eine Scheibe von Holz

befestigt, welche von einem Messingringe umgeben ist. Dieser Ring bildet aber kein Ganzes, sondern er besteht aus zwei Hälften *h* und *i*, welche durch zwei einander diametral gegenüberliegende Zwischenräume von einander getrennt sind, also nicht in leitender Verbindung stehen, wie man in der Figur deutlich sieht.

Das eine Ende *o* der Drahtwindungen, welche den Eisenkern des Elektromagnets umkreisen, ist nun an dem Halbringe *h*, das andere Drahtende ist an dem Halbringe *i* angelöthet.

Auf dem Umfange der eben besprochenen Scheibe schleifen zu beiden Seiten zwei Metallfedern *f* und *g*, auf deren äusseren Enden die Klemmschrauben befestigt sind, welche zur Aufnahme der Poldrähte der Batterie dienen.

Nehmen wir an, in die vordere Klemmschraube sei der negative, in die hintere sei der positive Poldraht eingeschraubt, so wird bei der in unserer Figur dargestellten Lage der positive Strom durch die Feder *g* zum Halbringe *h* und von diesem durch *o* in die Windungen gelangen, während die vordere Feder auf dem Halbringe *i* schleift, also der positive Strom aus den Windungen über *i* und durch die Feder *f* austritt. Unter diesen Umständen wird das vordere Ende *A* des umströmten Eisens ein Südpol, *A* wird also von *N* und *B* wird von *S* angezogen, der Elektromagnet dreht sich also in der durch den Pfeil angegebenen Richtung.

In dem Moment, in welchem *A* über *N* und *B* über *S* passiren, gehen die isolirenden Zwischenräume zwischen *h* und *i* unter den Federn weg, die Feder *f* kommt auf *h* und *g* kommt auf *i* zu liegen, was einen Stromwechsel und eine Umkehrung der Polarität des Elektromagnets zur Folge hat. *A* wird nun von *N* und *B* wird von *S* abgestossen, was zur Folge hat, dass die Rotation in gleicher Richtung fortdauert. Sobald *A* wieder über *S* und *B* über *N* ankommt, findet ein abermaliger Polwechsel statt, durch welchen der Elektromagnet abermals in gleicher Richtung fortgetrieben wird.

Es versteht sich von selbst, dass man den Stahlmagnet in diesem Apparate auch durch einen Elektromagnet ersetzen kann, in welchem kein Polwechsel stattfindet.

Bei dem Jacobi'schen Apparate war die Umdrehungsaxe horizontal und statt eines festen und eines beweglichen Elektromagnets kamen vier feste und vier rotirende in Anwendung. Mit einer solchen elektromagnetischen Maschine, welche durch eine Batterie von 64 constanten Zinkplatinelementen getrieben wurde, brachte er es im Jahre 1839 dahin, ein Boot auf der Newa mit $^3/_4$ bis 1 Pferdekraft in Bewegung zu setzen. So war allerdings die Möglichkeit des Maschinenbetriebs durch Elektromagnetismus dargethan; allein diese Triebkraft stellte sich als viel zu kostspielig heraus, als dass man vor der Hand an eine praktische Anwendung derselben denken kann.

Mit ganz besonderem Interesse verfolgte man in Deutschland die

Arbeiten Wagner's in Frankfurt a. M. über diesen Gegenstand, welche jedoch auch nicht zu praktischen Resultaten führten.

Bei allen diesen Apparaten erwuchs ein grosser Nachtheil aus dem Umstande, dass der Polwechsel der Elektromagnete nicht momentan stattfindet. Selbst das weichste Eisen, welches von einer elektrischen Spirale umgeben zum Elektromagnet wird, ist nicht im Stande, seine Pole so schnell zu wechseln, als man den elektrischen Strom in der Spirale umkehren kann; je grösser die Eisenmasse ist, desto träger ist sie in dieser Beziehung, und daher kommt es auch, dass grössere Apparate verhältnissmässig schlechtere Resultate geben als kleinere Modelle.

Diesen Nachtheil, welcher aus der Trägheit des Eisens gegen die Umkehrung des Magnetismus herrührt, hat Stöhrer zu umgehen gewusst, indem er die Rotation eines Elektromagnets, dessen Pole nicht gewechselt werden, durch den Polwechsel einer elektrischen Spirale bewirkt, innerhalb welcher der Elektromagnet sich dreht.

Fig. 354 stellt den Stöhrer'schen Apparat dar. A und B sind zwei längliche Rahmen, welche aus übersponnenem Kupferdraht gebildet sind, der ungefähr 1 Linie im Durchmesser hat. Die Drahtwindungen, welche den oberen Rahmen bilden, sind durch ein kurzes Drahtstück mit denen des unteren verbunden, so dass der Strom aus dem oberen Rahmen in den unteren übergeht; die Windungen beider Rahmen sind der Art, dass ein elektrischer Strom beide in gleicher Richtung durchläuft.

Zwischen dem oberen und dem unteren Drahtrahmen ist ein solcher Zwischenraum gelassen, dass die Umdrehungsaxe des Elektromagnets C sich frei bewegen kann.

Der Eisenkern des Elektromagnets ist an jedem Ende mit einer Eisenplatte versehen, welche einestheils die Drahtwindungen des Elektromagnets hält, anderntheils aber auch sehr zur Verstärkung der Wirkung beiträgt.

Wenn gleichzeitig ein Strom durch die Windungen der Rahmen A und B und durch die Windungen des Elektromagnets C hindurchgeht, so wird sich der Elektromagnet rechtwinklig stellen zur Ebene der Rahmen; und zwar wird, je nach der Richtung des Stromes in den Rahmen, ein bestimmter Pol des Elektromagnets sich nach oben kehren. Bliebe der Strom in den Rahmen ungeändert, so würde der Elektromagnet in dieser Gleichgewichtslage nach einigen Oscillationen zur Ruhe kommen; wird aber der Strom in den Rahmen in demselben Moment umgekehrt, in welchem der Magnet seine verticale Stellung erreicht, so wird nun die Rotation fortdauern müssen, denn bei der neuen Stromrichtung in den Rahmen kann der Elektromagnet nicht eher zur Ruhe kommen, als bis der eben oben angekommene Pol gerade nach unten gerichtet ist; es wird also eine beständige Rotation des Elektromagnets stattfinden müssen, wenn nach jeder halben Umdrehung desselben der Strom in den Rahmen umgekehrt wird, während die Polarität des Elektromagnets ungeändert bleibt.

Sehen wir nun, wie der Strom durch den Apparat hindurchgeleitet wird.

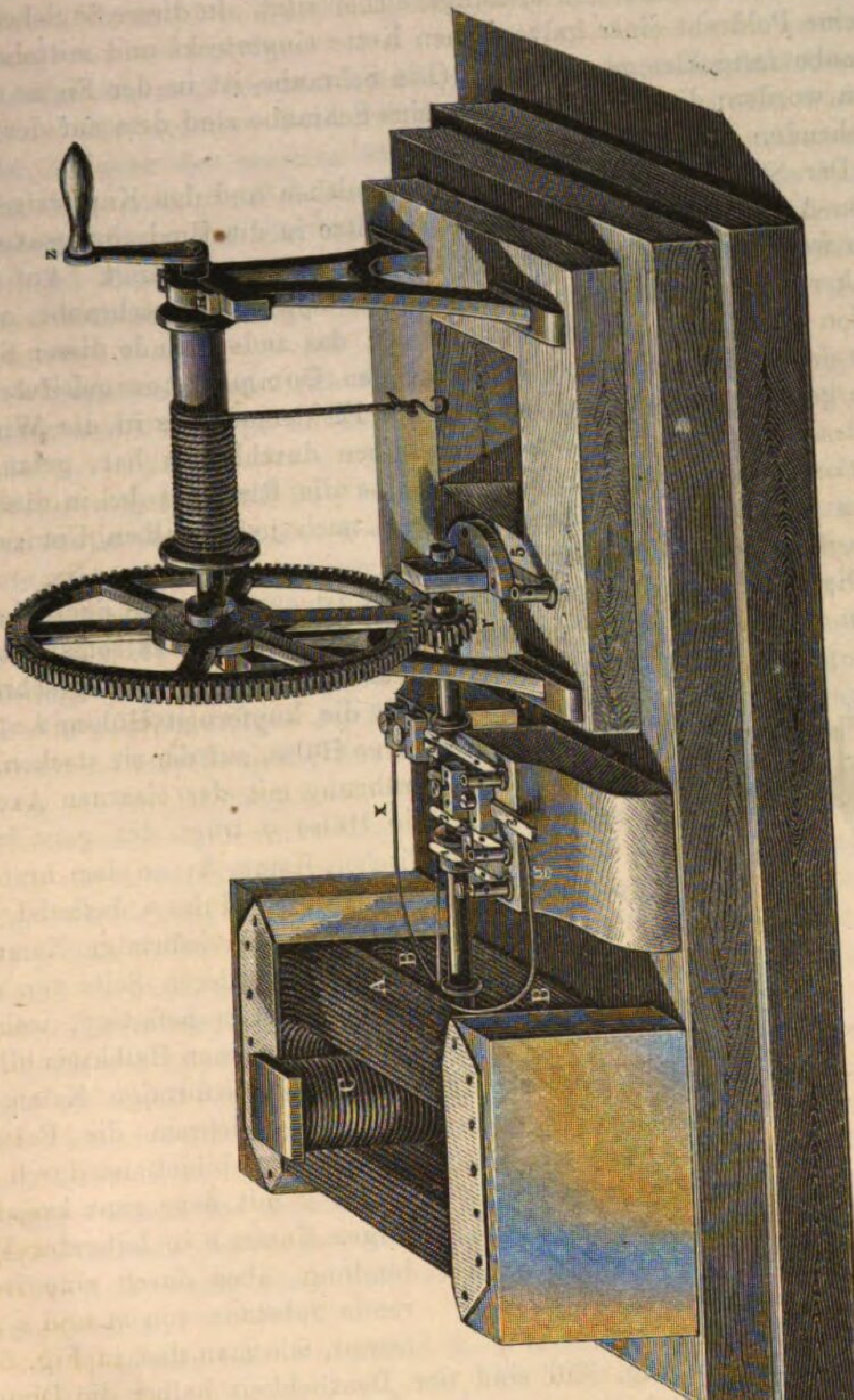


Fig. 354.

Die Umdrehungsaxe des Elektromagnets läuft zwischen zwei Stahlspitzen, von denen nur die eine in unserer Figur sichtbar ist. Diese Spitze steckt mit einem Schraubengewinde in einem Messingpfeiler, dessen

Fuss fest auf den Boden aufgeschraubt ist, so dass eine innige Berührung zwischen diesem Messingfusse und dem Kupferstreifen 5 stattfindet, auf dessen vorderem Ende ein Messingsäulchen sitzt. In dieses Säulchen kann der eine Poldraht einer galvanischen Kette eingesteckt und mittelst einer Schraube festgeklemmt werden. (Die Schraube ist in der Figur weggelassen worden; dies Säulchen und seine Schraube sind dem auf der Feder 1 stehenden ganz gleich.)

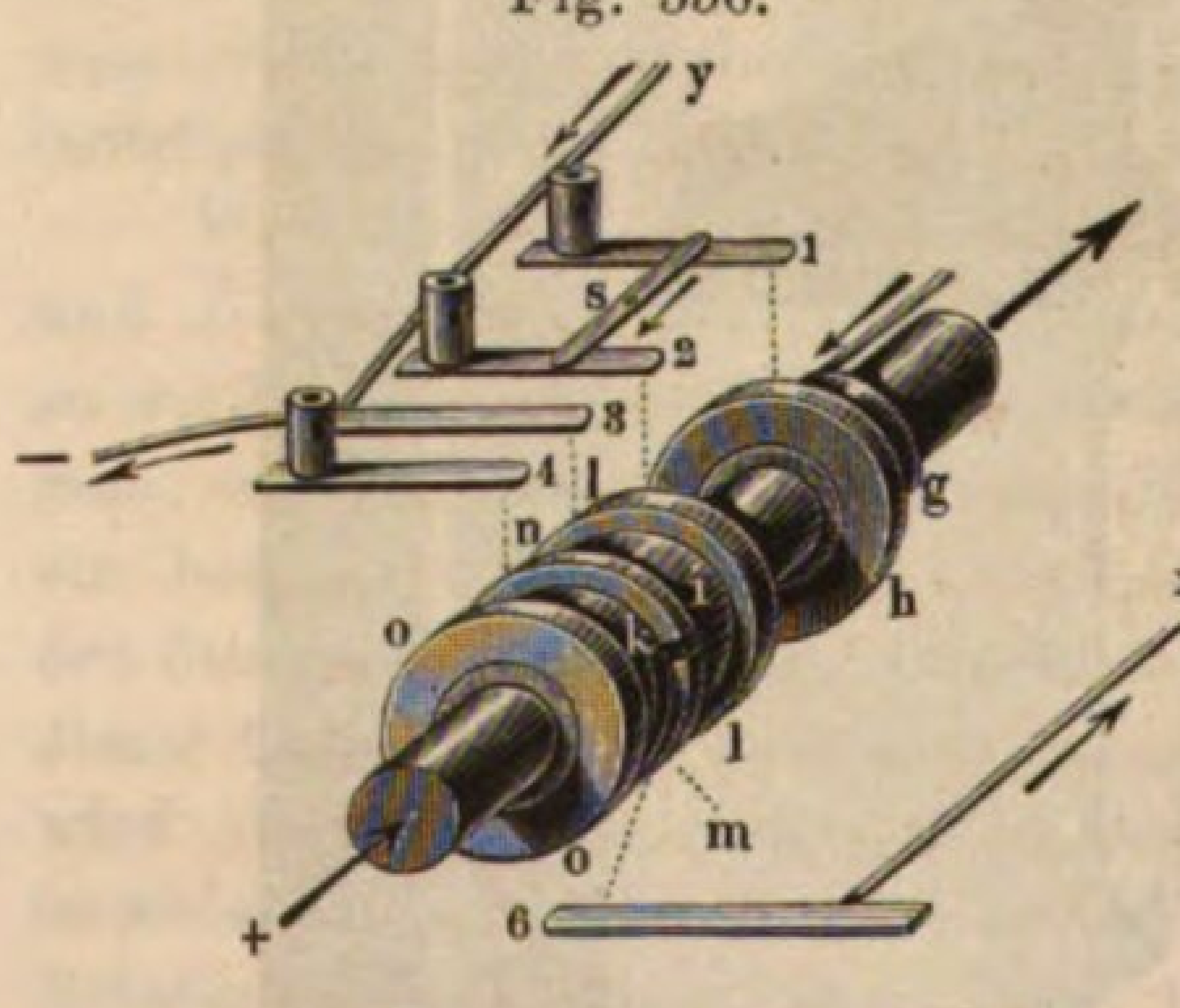
Der Strom tritt also durch dies Säulchen und den Kupferstreifen 5 in den Apparat ein, geht durch die Spitze in die Umdrehungsaxe über, durch welche er zum Eisenkern des Elektromagnets gelangt. Auf diesen Eisenkern ist nun das eine Drahtende der Spirale aufgeschraubt, welche um den Eisenkern herumgewunden ist; das andere Ende dieser Spirale ist zu dem alsbald näher zu betrachtenden Commutator geleitet. Der Strom geht also aus dem Eisenkern des Elektromagnets in die Windungen desselben, und nachdem er dieselben durchlaufen hat, gelangt er zum Commutator, welcher bewirkt, dass die Richtung des in die Windungen der Rahmen geleiteten Stromes nach jeder halben Umdrehung in denselben umgekehrt wird.

Die Einrichtung dieses Commutators ist aus Fig. 356 deutlicher zu ersehen. Das eine Ende der Drahtwindungen des Elektromagnets ist auf die Metallhülse g, Fig. 356, aufgeschraubt, welche, wie auch die kupfernen Hülsen i und k, durch eine hölzerne Hülse, auf der sie stecken, vor metallischer Berührung mit der eisernen Axe geschützt ist. Die Hülse g trägt den ganz kreisförmigen metallischen Kamm h; an dem hinteren Ende der Hülse i befindet sich der ganz kreisförmige Kamm l, auf der vorderen Seite von i ist der Kamm m befestigt, welcher jedoch nur einen Halbkreis bildet. Der halbkreisförmige Kamm n, welcher gleichsam die Fortsetzung von m bildet, ist durch die Hülse k mit dem ganz kreisförmigen Kamm o in leitender Verbindung, aber durch eine isolirende Substanz von m und i getrennt, wie man dies in Fig. 355 deutlicher sieht. In Fig. 356 sind der Deutlichkeit halber die Dimensionen von vorn nach hinten bedeutend vergrössert aufgetragen; ferner sind die Federn 1, 2, 3, 4 und 6 als von den Kämmen, auf denen sie schleifen sollen, weggerückt gezeichnet.

Fig. 355.



Fig. 356.



Auf h schleift die Feder 1, auf l die Feder 2, auf o die Feder 4. Die Feder 3 schleift oben, die Feder 6 schleift unten an dem aus den

Theilen *m* und *n* bestehenden mittleren Kamm und zwar so, dass *n* und 3 in Berührung sind, wenn *m* und 6 sich berühren; wenn aber während der Rotation *m* mit 3 in Berührung kommt, so kommt unten *n* mit 6 in Berührung.

Nehmen wir an, der positive Pol der Kette sei in das Säulchen des Streifens 5, der negative Poldraht in das Säulchen der Feder 4 eingeschraubt, so geht der positive Strom, nachdem er den Elektromagnet umkreist hat, nach *g* und *h*, von da durch die Feder 1 und den kupfernen Querstreifen *s* auf die Feder 2, dann nach *l*, *i* und *m*; der halbkreisförmige Kamm *m* ist also gleichsam ein + Pol; von *m* geht der positive Strom auf diejenige der Federn 6 oder 3 über, die er gerade berührt.

Der negative Strom tritt durch die Feder 4 ein und gelangt von da über *o* und *k* nach *n*, so dass also *n* gleichsam der negative Pol der Kette ist.

Wenn *m* gerade mit 6, *n* aber mit 3 in Berührung ist, so tritt der positive Strom von 6 aus durch den Draht *x* in die Windungen der Rahmen ein, und gelangt, nachdem er diese Windungen durchlaufen hat, durch den Draht *y* (in Fig. 354 irrthümlich mit *g* bezeichnet) und die Feder 3 nach *n*; nach einer halben Umdrehung aber kommt *m* mit 3 in Berührung, jetzt tritt der positive Strom durch die Feder 3 und den Draht *y* in die Windungen der Rahmen ein, durch *x* und 6 aber aus, bei jeder halben Umdrehung der Axe findet also eine Umkehrung der Stromrichtung in den Rahmen statt, wodurch denn die fortdauernde Rotation des Elektromagnets bewerkstelligt wird.

An der Umdrehungsaxe des Elektromagnets ist das kleine Zahnrad *r*, Fig. 354, befestigt, welches in ein grösseres eingreift. Um die Axe dieses grösseren Zahnrades ist eine Schnur geschlungen, an welcher ein passendes Gewicht gehängt werden kann, welches dann durch die Rotation des Elektromagnets gehoben wird.

Sollte der Apparat nur zu dem oben angegebenen Zwecke dienen, so könnte er etwas einfacher sein; *g*, *h* und der Kamm *l* nebst den Federn 1 und 2 könnten ganz wegbleiben, und der vom Elektromagnet kommende Kupferdraht direct mit der Metallhülse *i* verbunden sein. Bei der Einrichtung, welche der Apparat jetzt hat, lässt er sich aber auch noch zu anderen Versuchen anwenden, welche erst später besprochen werden können.

Bei Anwendung einer Bunsen'schen Batterie wurden folgende Resultate erhalten:

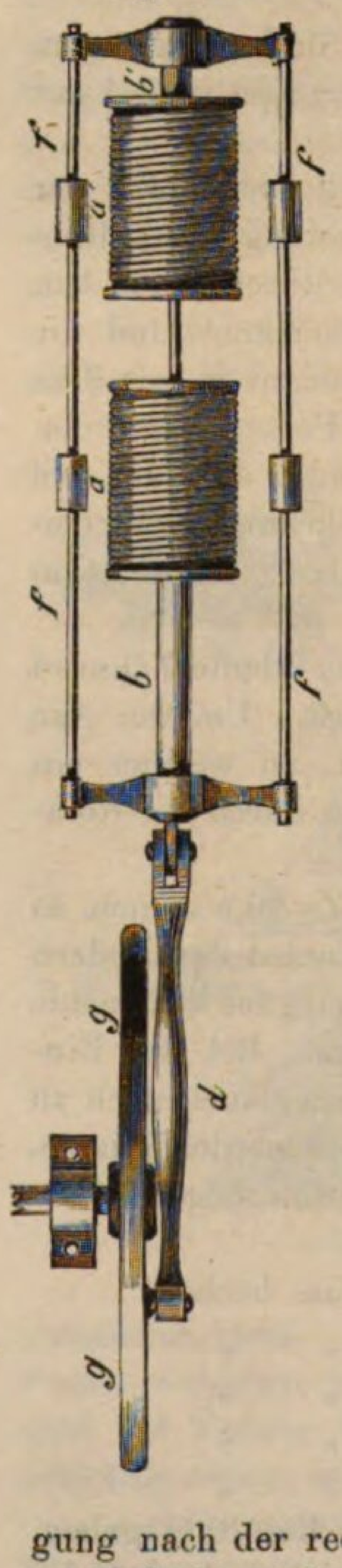
1 Becher	hob	$1^3/_4$	Pfund	in	4	Secunden	1	Fuss	hoch.
2 „	„	3	„	„	3	„	1	„	„
3 „	„	5	„	„	$2^1/_2$	„	1	„	„
4 „	„	6	„	„	2	„	1	„	„
5 „	„	$6^3/_4$	„	„	$1^1/_2$	„	1	„	„

Obgleich die Stöhrer'schen Apparate günstigere Resultate geben, als alle früher zu diesem Zwecke construirten, so ergab sich doch, dass die

Unterhaltungskosten zu gross sind, um eine technische Anwendung möglich zu machen.

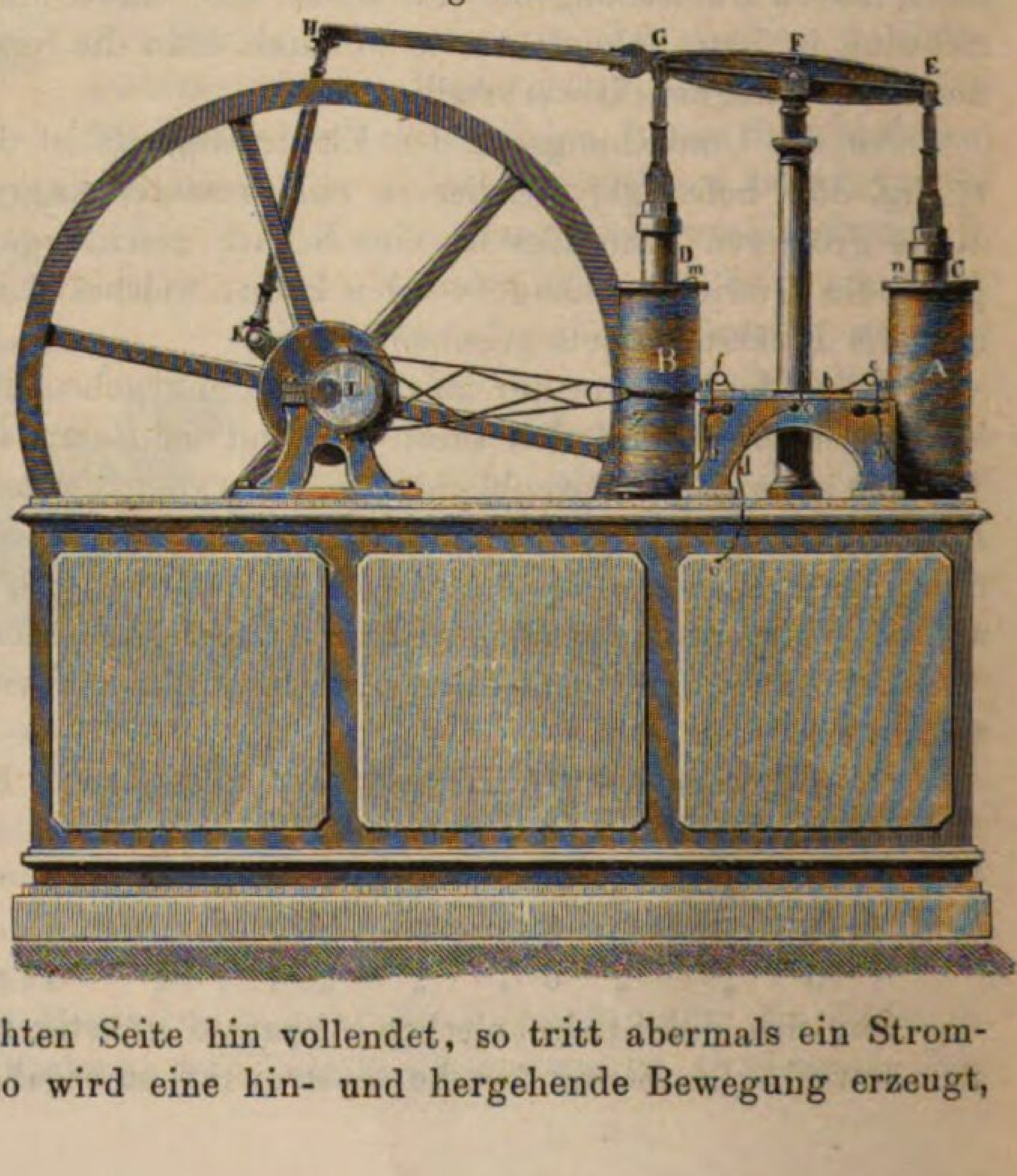
Man hat elektromagnetische Motoren von sehr verschiedenen Formen construirt, alle aber lassen sich in zwei Hauptabtheilungen bringen: in die erste Classe gehören solche Apparate, bei welchen, wie bei den bisher betrachteten, direct eine Rotationsbewegung erzeugt wird; in die zweite solche, bei denen ursprünglich eine oscillatorische Bewegung hervorgebracht wird, die erst in eine continuirlich drehende verwandelt werden muss. In diese zweite Classe gehört unter anderen der Apparat des Amerikaners Page, dessen Construction durch Fig. 357 erläutert wird.

Fig. 357.



Auf einem Brett sind in horizontaler Lage zwei Magnetisirungsspiralen a und a' so befestigt, dass ihre Axen genau in dieselbe gerade Linie fallen. Die beiden Eisenstäbe b und b', durch ein Messingstäbchen mit einander verbunden, sind an dem beweglichen Rahmen ff befestigt, welcher ihnen zur Führung dient. Geht ein Strom durch a', so wird b' nach der Linken gezogen; sobald der Stab b' ganz in a' hineingeschoben ist, wird der Strom in a' unterbrochen, während er durch a zu laufen beginnt. b wird jetzt in die Spirale a hineingezogen, während a' nicht mehr auf b' wirkt; ist die Bewe-

Fig. 358.



gung nach der rechten Seite hin vollendet, so tritt abermals ein Stromwechsel ein, und so wird eine hin- und hergehende Bewegung erzeugt,

welche durch die Triebstange *d* dem Schwungrad *g* eine rotirende Bewegung mittheilt.

Die Vorrichtung zum Stromwechsel ist an der Schwungradswelle angebracht. Diese sowie die Drahtleitungen sind in der Zeichnung weggelassen, da es nur darauf ankam, eine Idee von dem Apparate zu geben.

Als eine Varietät des Page'schen Apparates kann man den in Fig. 358 dargestellten betrachten, welcher in seinem Aeusseren die Dampfmaschine gleichfalls nachahmt, wie der vorige. Die beiden Spiralen stehen vertical. Dadurch, dass abwechselnd der Eisenkern *C* und dann wieder der Eisenkern *D* in seine Spirale hineingezogen wird, wird der Balancier *G E* in Bewegung gesetzt, dessen auf- und niedergehende Bewegung durch Pleuelstange und Kurbel in eine rotirende Bewegung verwandelt wird. An der Umdrehungsaxe befindet sich ein Schwungrad und eine excentrische Scheibe, deren Gestänge mit einem Schieber endigt, durch dessen Hin- und Hergehen abwechselnd die Spirale *A* und dann wieder die Spirale *B* in den Schliessungsbogen der Batterie gebracht wird.

Theorie der elektromagnetischen Motoren. Die Grundzüge der Theorie elektromagnetischer Motoren hat Jacobi entwickelt (Krönig's Journal Bd. III, Seite 377). Folgendes ist das Wesentlichste derselben: 137

Es sei

n die Anzahl der Plattenpaare, welche zur Säule verbunden den Strom liefern, welcher die Maschine treiben soll;

e die elektromotorische Kraft eines Plattenpaares;

ϱ der Gesammtwiderstand,

so ist nach dem Ohm'schen Gesetze die Stromstärke

$$i = \frac{ne}{\varrho} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 1)$$

Wenn nun ein Strom von dieser Stärke in β Windungen einen Eisenkern umkreist, so ist der Magnetismus desselben

$$m = \beta\, i = \frac{\beta n e}{\varrho} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 2)$$

denn bei so dicken Eisenkernen, wie sie bei diesen Maschinen in Anwendung kommen, kann man ohne Anstand den Magnetismus der Stromstärke proportional setzen.

Die Kraft, mit welcher zwei solche elektromagnetische Pole sich anziehen oder abstossen, ist dem Producte ihrer Magnetismen proportional, also

$$R = m^2 = \frac{\beta^2 n^2 e^2}{\varrho^2} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 3)$$

Dieser Gleichung zufolge kann man bei unveränderten Werthen von n, e und ϱ die zwischen den Polen zweier Elektromagnete stattfindende

Anziehung oder Abstossung durch Vergrösserung der Windungszahl β bis ins Unendliche steigern, wenn man nur die Eisenkerne dick genug macht und dafür sorgt, dass bei der Verlängerung des Drahtes auch sein Querschnitt in solchem Verhältnisse wächst, dass der Gesammtwiderstand ϱ unverändert bleibt. — Dadurch glaubte man sich nun zu der Hoffnung berechtigt, dass man den mechanischen Effect einer galvanischen Batterie bei unveränderter Stromstärke, also bei unveränderter Consumtion durch Vermehrung der Windungszahl beliebig steigern könne.

Was von der Grösse der Anziehung oder Abstossung zweier Magnetpole gilt, welche ruhig einander gegenüberstehen, darf aber durchaus nicht auf den mechanischen Effect übertragen werden, welchen die Maschine hervorzubringen vermag, wenn sie in Bewegung ist, wie dies die folgende Betrachtung darthut.

Der Strom, welchen die Säule liefert, behält nur so lange den bei 1) angegebenen Werth, als man die Maschine nicht in Bewegung kommen lässt, als man sie anhält. Sobald die Rotation beginnt, nimmt die Stromstärke ab, und zwar um so mehr, je schneller die Maschine läuft.

Es lässt sich dies leicht nachweisen, wenn man eine Tangentenbussole in den Schliessungsbogen einschaltet. Hält man die Maschine an, so beobachtet man die der Gleichung 1) entsprechende Ablenkung. Hängt man der Maschine eine verhältnissmässig grosse Last an, so rotirt sie nur ganz langsam und die Nadel geht nur wenig von der Stellung zurück, welche sie einnahm, als die Maschine angehalten wurde. Vermindert man die angehängte Last mehr und mehr, so läuft die Maschine immer schneller und dabei geht die Nadel der Tangentenbussole mehr und mehr zurück.

Diese Schwächung der Stromstärke rührt daher, dass ein Magnet oder ein Elektromagnet, welcher sich in der Nähe einer geschlossenen Drahtspirale bewegt, in derselben einen Strom hervorzurufen (zu induciren) strebt, welcher demjenigen entgegengesetzt ist, welcher, die Spirale durchströmend, eine Bewegung in gleichem Sinne bewirkt. — Die Gesetze dieser inducirten Ströme werden wir im sechsten Capitel näher betrachten, hier genügt es uns, vor der Hand zu wissen, dass die in Folge der Induction eintretende Stromschwächung proportional ist:

1. der Geschwindigkeit v, mit welcher sich der Elektromagnet bewegt;
2. der Stärke m der Elektromagnete;
3. der Windungszahl β;
4. dass sie umgekehrt proportional ist dem Widerstand ϱ.

Bezeichnet nun m' die Stärke des Magnetismus der Elektromagnete, und i' die Stromstärke, während die Maschine im Gang ist, so ist

$$m' = \beta i' \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 4)$$

und die durch die Bewegung eingetretene Stromschwächung

$$i - i' = \frac{\beta . m' v \gamma}{\varrho}$$

wo γ irgend einen constanten Coëfficienten bezeichnet. Daraus aber ergiebt sich

$$v = \frac{(i - i')\varrho}{\beta m' \gamma}$$

oder wenn man für i und m' ihre Werthe bei 1) und 4) setzt:

$$v = \frac{\left(\frac{ne}{\varrho} - i'\right)\varrho}{\beta^2 i' \gamma} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 5)$$

Die Kraft, mit welcher die Elektromagnete sich anziehen oder abstossen, ist aber

$$R' = m'^2 = \beta^2 i'^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 6)$$

Die Bedeutung des Werthes R' = bedarf nun zunächst noch einer Erläuterung.

Die Kraft, mit welcher die Magnetpole auf einander wirken, ist keineswegs eine beständige Grösse, sie ist nämlich von der Entfernung der Pole abhängig und variirt also während jeder Umdrehung innerhalb gewisser, von der Eigenthümlichkeit der Maschine abhängiger Gränzen. Dies hindert jedoch nicht, dass die Maschine in einen nahezu gleichförmigen Lauf kommt, und während desselben wird ein bestimmter gleichförmiger Bewegungswiderstand überwunden, welcher theils von der angehängten Last, theils von dem Reibungswiderstande in der Maschine und dem Luftwiderstande herrührt. Dieser gleichförmige Bewegungswiderstand nun, welchen die Maschine überwindet, ist gleich der mittleren Kraft, mit welcher die Magnetpole auf einander wirken. In den Momenten, in welchen die Pole mit grösserer Kraft auf einander wirken, tritt eine Beschleunigung ein, während in den Zeittheilen, in welchen die Pole mit geringerer Kraft auf einander wirken, eine Verzögerung erfolgt.

Diese mittlere Kraft nun, welche der Summe aller Widerstandskräfte gleich ist, die von der Maschine überwunden werden, soll mit R' bezeichnet werden.

Aus der Vergleichung der Formeln 5) und 6) ergiebt sich zunächst das wichtige Resultat, dass bei unveränderter Stromstärke, also bei unverändertem Werth von i' durch Vermehrung der Windungszahl β für den mechanischen Effect der Maschine nichts gewonnen werden kann.

Der mechanische Effect der Maschine ist nämlich dem Product $R'v$ proportional; aus diesem Product aber verschwindet β vollständig, denn in demselben Maasse, wie R' durch Vergrösserung von β zunimmt, nimmt auch v ab, denn im Werthe von R' steht β^2 im Zähler, im Werthe von v steht es im Nenner. Für den mechanischen Effect erhalten wir den Werth:

$$T = R'v = \frac{i'\varrho\left(\frac{ne}{\varrho} - i'\right)}{\gamma} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 7)$$

T wird gleich Null, wenn $i' = \frac{ne}{\varrho}$, d. h. wenn der Strom den Werth von i in Gleichung 1) erreicht; für diesen Fall wird der Werth von R' gleich dem von R in Gleichung 3), während $v = 0$ wird. Ferner wird $T = 0$, wenn $i' = 0$ ist, wo dann $R = 0$ und $v = \infty$ wird. Zwischen diesen Gränzwerthen von i', nämlich $i' = 0$ und $i' = \frac{n\,e}{\varrho}$, muss es nun offenbar einen Werth von i' geben, für welchen T ein Maximum wird. Ein bekannter Satz der Mathematik lehrt, dass das Product $x\,(a - x)$ ein Maximum wird, wenn $x = {}^1/_2\,a$. Wenden wir dies auf unsern Fall an, so ist klar, dass T ein Maximum sein wird, wenn

$$i' = \frac{n\,e}{2\,\varrho} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 8)$$

dass man also ein Maximum des mechanischen Effects erhält, wenn man die Belastung der Maschine so regelt, dass die Stärke des Stromes, welcher den rotirenden Apparat durchläuft, gerade halb so gross ist, als die Stromstärke sein würde, wenn man die Maschine anhielte.

Für dieses Maximum des mechanischen Effects erhält man

$$T_0 = \frac{n^2 e^2}{4\,\varrho\,\gamma} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 9)$$

wobei sich für die entsprechenden Werthe des Druckes und der Geschwindigkeit ergiebt

$$R_0 = \frac{\beta^2 n^2 e^2}{4\,\varrho^2}$$

und

$$v_0 = \frac{\varrho}{\beta^2\,\gamma}.$$

Es ist zu beachten, dass die Formel 9) nicht den reinen Nutzeffect ausdrückt, da T_0 die Gesammtarbeit der Maschine bezeichnet, welche aus der Summe des reinen Nutzeffects und der beim Lauf der Maschine zu überwindenden Bewegungshindernisse, der Reibung u. s. w. besteht.

Die obigen Betrachtungen gelten allgemein für alle elektromagnetischen Motoren, welches auch übrigens ihre Construction sein mag; von den specifischen Eigenthümlichkeiten derselben hängt nur der Factor γ ab, dessen numerischer Werth bis jetzt für die verschiedenen Formen der elektromagnetischen Maschinen noch zu ermitteln ist, woraus sich denn auch ergeben wird, welche derselben die vortheilhafteste ist. Soviel ist nun jedenfalls nachgewiesen, dass einer bestimmten Stromstärke auch ein bestimmtes theoretisches Maximum des mechanischen Effectes zukommt, dem wir uns durch Vervollkommnung der Apparate mehr und mehr nähern können, so wie ja auch durch bessere Dampfmaschinen nur eine vollständigere Benutzung der Dampfkraft erzielt wird, ohne dass man dabei je über gewisse Gränzen hinauskommen kann. Bei sonst

gleicher Construction der Maschine aber kann die Vergrösserung der Dimensionen und die Vermehrung der Drahtwindungen durchaus nicht anders wirken, als eine vermehrte Uebersetzung bei einem Räderwerk.

Zur Prüfung und Erläuterung der Jacobi'schen Theorie habe ich eine Versuchsreihe angestellt, welche die in folgender Reihe zusammengestellten Resultate gab.

Angehängte Gewichte.	Ueberwundener Widerstand in Pfunden.	Zeit, welche zu 6 Fuss Hebung erforderlich war.	Mechanischer Effect pro Secunde in Fusspfund.	Ablenkung der Tangentenbussole.
0	1,3	14 Secund.	0,557	12,5⁰
Wagschale = 0,9 Pf.	2,2	24 „	0,550	22,5
0,9+2	4,2	50 „	0,504	27,5
0,9+3	5,2	162 „	0,192	29,75

Die Maschine, welche zu diesen Versuchen angewandt wurde, war eine Stöhrer'sche von der auf Seite 392 besprochenen Construction. Der Strom wurde durch eine Säule von drei doppelten Zinkkohlenbechern erzeugt und in den Schliessungsbogen, in gehöriger Entfernung von dem elektromagnetischen Motor die Tangentenbussole eingeschaltet. Als die Maschine still gehalten wurde, war die Ablenkung 32,5⁰; als man die Maschine laufen liess, ohne etwas an die Schnur anzuhängen, ging die Nadel der Tangentenbussole auf 12,5⁰ zurück. Als eine hölzerne Wagschale von 0,9 Pfund angehängt wurde, rotirte die Maschine langsamer und die Nadel stellte sich bei 22,5⁰ ein.

Als noch Gewichte auf die Wagschale gelegt wurden, wurde die Umdrehung noch langsamer, während die Stromstärke zunahm, wie man aus der Tabelle ersieht.

Durch vorläufige Versuche war ermittelt worden, dass die Widerstände, welche bei der Rotation der unbelasteten Maschine zu überwinden sind, ungefähr einem an der Welle angehängten Gewicht von 1,3 Pfund gleichgesetzt werden müssen. Addiren wir diese 1,3 Pfund zu der jeweils angehängten Last, so erhalten wir annäherungsweise die Summe der überwundenen Widerstände, wie sie in der zweiten Columne obiger Tabelle angeführt sind. Die Zahlen sind jedoch nur als eine erste, für unsern Zweck aber ausreichende Annäherung zu betrachten, denn die Reibungswiderstände wachsen ja, wenn schwerere Gewichte angehängt werden; zu den grösseren Belastungen müsste also eigentlich mehr als 1,3 Pfund addirt werden.

Im Uebrigen bedarf wohl die Tabelle keiner weiteren Erläuterung.

Nach Jacobi's Theorie muss man das Maximum des mechanischen (Brutto-) Effectes erhalten, wenn die Belastung so regulirt wird, dass bei

rotirendem Apparat die Stromstärke halb so gross ist, als wenn der Apparat arretirt wird. Da *tang* 32,5° gleich 0,64 ist, so ist also 0,32 die trigonometrische Tangente des Winkels, um welchen die Nadel der Tangentenbussole für den Fall des Maximums an mechanischem Effect abgelenkt werden muss; dieses Maximum haben wir also zu erwarten, wenn die Nadel eine Ablenkung von 17,75 Graden zeigt.

Dies stimmt nun mit obigen Versuchen ganz gut überein; nach diesen haben wir das Maximum des Effectes bei einer Stromstärke zu erwarten, für welche die Ablenkung der Nadel ungefähr in der Mitte zwischen 12,5° und 22,5° liegt, also 17,5° beträgt. Aus dieser Versuchsreihe ergiebt sich aber, dass das Maximum des mechanischen Effectes nur unbedeutend grösser sein kann, als 0,557 Fusspfund in der Secunde. Nehmen wir als erste Annäherung 0,56 Fusspfund an, so ist also für unseren Fall das Maximum des mechanischen (Brutto-) Effectes nur ohngefähr $^1/_{1000}$ Pferdekraft.

Die Stromstärke, welche diesen Effect hervorbringt, ist 0,32 . 70 = 22,4; zur Erhaltung dieser Stromstärke ist aber in den drei Zellen eine Consumtion an Zink und Säure erforderlich, welche einer Entwickelung von 3 . 22,4 = 67,2 Cubikcentimetern Knallgas in der Minute, oder 4032 Cubikcentimetern, gleich 2,096 Gramm in der Stunde, was einer Zinkconsumtion von 7,6 Gramm Zink in der Stunde entspricht. Bedenkt man nun, dass damit nur $^1/_{1000}$ Pferdekraft erzeugt wird, dass ausser dem Zink auch noch Schwefelsäure und Salpetersäure consumirt wird; ferner dass der obige Effect nur der Bruttoeffect, dass der wirklich nutzbare Effect noch weit geringer ist, so wird man wohl zugeben müssen, dass die elektromagnetische Triebkraft eine ungemein kostspielige ist. — Wenn der Amerikaner Page behauptet, dass für seine Apparate die elektromagnetische Triebkraft weniger kostspielig sei als die Dampfkraft, so möge es uns einstweilen erlaubt sein, an der Wahrheit dieser Behauptung zu zweifeln, bis er durch nüchterne Zahlenangaben nachweist, dass er sich nicht getäuscht habe.

Wir werden später, bei Gelegenheit der mechanischen Wärmetheorie, noch einmal auf die elektromagnetischen Motoren zurückkommen.

138 **Elektrische Telegraphie.** Bereits in der letzten Hälfte des vorigen Jahrhunderts hatte man Versuche gemacht, die Reibungselektricität zum Telegraphiren zu benutzen, nachdem man sich von der grossen Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität überzeugt hatte. Alle nach dieser Seite hin gerichteten Bestrebungen scheiterten aber an der Unbeständigkeit der Elektrisirmaschine, ihrer Abhängigkeit von dem Feuchtigkeitszustande der Luft, der Schwierigkeit einer genügenden Isolirung der Leitungsdrähte u. s. w.

Bald nach Entdeckung des Galvanismus und der Volta'schen Säule versuchte man, den galvanischen Strom zur Telegraphie zu

benutzen. Sömmering wollte die galvanische Wasserzersetzung zur Zeichengebung benutzen, und später hat Vorsselmann de Heer die physiologischen Wirkungen des Stromes zu gleichem Zweck in Vorschlag gebracht.

Eine wirklich praktische Richtung nahmen die Versuche zur elektrischen Telegraphie erst nach der Entdeckung des Elektromagnetismus. Die Ablenkung von Multiplicatornadeln durch den galvanischen Strom wurde alsbald zu dem fraglichen Zweck in Vorschlag gebracht und versucht; allein erst Gauss und Weber haben im Jahre 1833 einen derartigen Apparat im Grossen ausgeführt. Die Leitungsdrähte waren zwischen dem physikalischen Cabinet und der Sternwarte zu Göttingen über die Häuser der Stadt hin ausgespannt worden. Der Observationsapparat auf der einen Station bestand aus einem Gauss'schen Magnetometer, dessen Stab wie in Fig. 326, Seite 360 mit zahlreichen Multiplicatorwindungen umgeben war, welche die Schliessung der Zuleitungsdrähte auf dieser Seite bildeten. Indem nun auf der anderen Station ein momentaner Strom in der einen oder anderen Richtung erzeugt wurde, machte der Magnetstab eine durch das Fernrohr zu beobachtende Zuckung nach der rechten oder nach der linken Seite.

Durch Combination dieser beiden Elementarzeichen (Ausschlag rechts und Ausschlag links) wurde das Alphabet gebildet.

Es waren nicht gewöhnliche galvanische Ströme, welche hier in Anwendung gebracht wurden, sondern Inductionsströme, wie wir sie im nächsten Capitel werden kennen lernen.

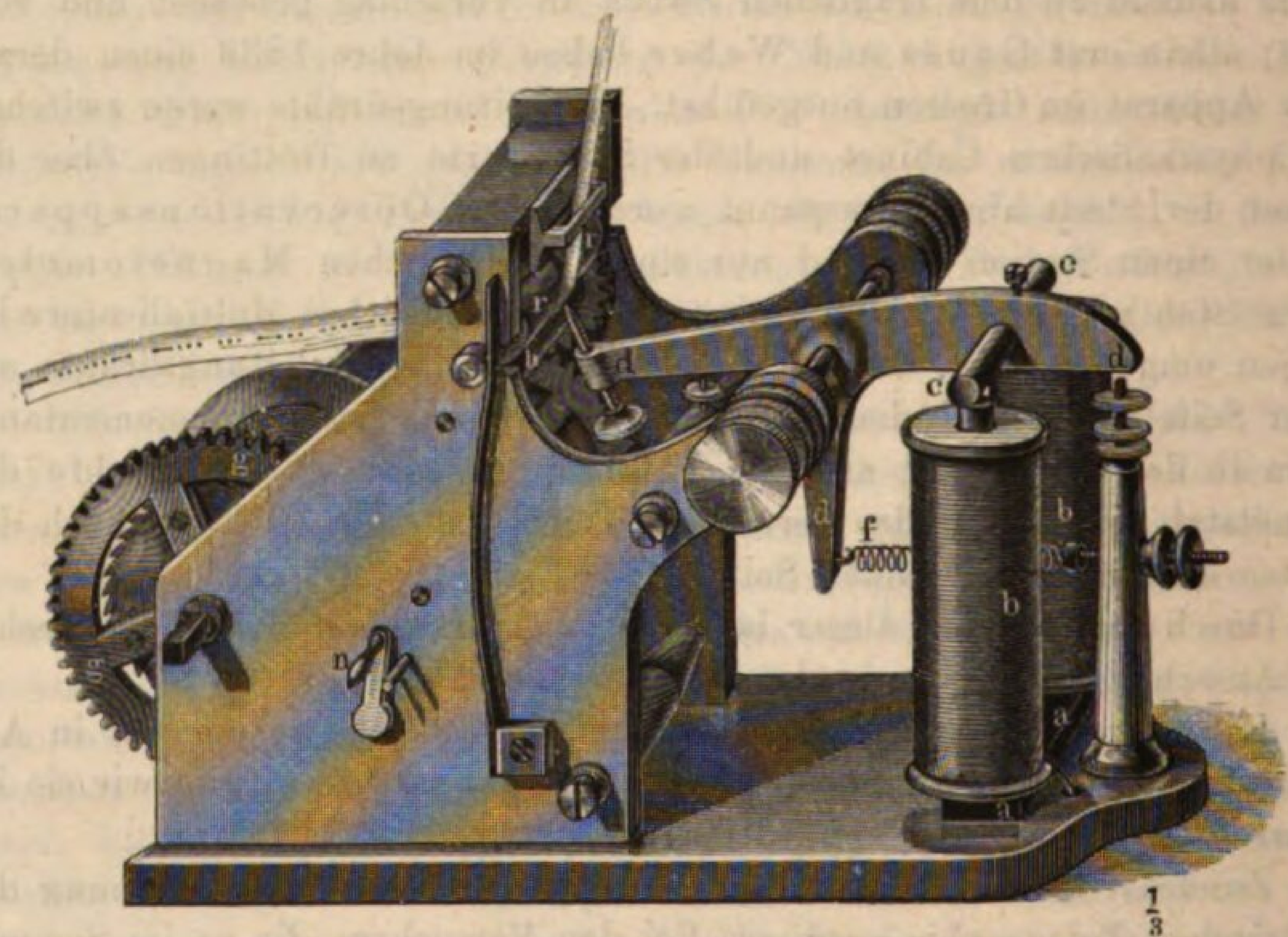
Zunächst machte sich nun Steinheil um die Vervollkommnung der elektrischen Telegraphie verdient. Bei den Versuchen, die er im Sommer 1838 auf der Nürnberg-Fürther Eisenbahn anstellte, machte er die folgenreiche Entdeckung, dass sich das Erdreich selbst als Leiter für den Strom benutzen lasse, dass man also nur einen Leitungsdraht nöthig hat, indem die Rückleitung des Stromes durch den Erdboden erfolgt. Auf welche Weise der Erdboden zur Stromleitung benutzt wird, werden wir weiter unten sehen.

Unter allen Formen des elektrischen Telegraphen hat sich der Morse'sche Drucktelegraph als die praktischste bewährt, weshalb wir diese im nächsten Paragraphen ausführlicher besprechen wollen.

Der Drucktelegraph. Bereits im Jahre 1832 kam der Amerikaner Morse auf den Gedanken, Elektromagnete zur Telegraphie zu benutzen; aber erst nach vielen mühevollen Versuchen kam er zum Ziele, und im Jahre 1837 wurde die Einrichtung seines Drucktelegraphen bekannt gemacht. Er zeichnet sich durch grosse Einfachheit aus und hat vor den übrigen Telegraphen den grossen Vortheil voraus, dass er nicht bloss vorübergehende Zeichen giebt, sondern ein bleibendes Actenstück liefert. Diese Telegraphen sind mit verschiedenen Modificationen jetzt fast überall eingeführt. 139

Fig. 359 stellt den Morse'schen Schreibapparat in $^1/_3$ der natürlichen Grösse dar. Auf einer eisernen Platte *a* sind zwei Stäbchen von Eisen befestigt, welche, mit den Magnetisirungsspiralen *b* umgeben, einen Hufeisenmagneten bilden. Ueber den Polen schwebt in einiger Entfernung der Eisenstab *c*, welcher in dem Messinghebel *d* steckt. Sobald die Eisenkerne magnetisch werden, wird das rechte Ende des Hebels *d* nie-

Fig. 359.



dergezogen; wenn die Eisenkerne ihren Magnetismus verlieren, so wird der Hebel durch eine an einem Seitenarm des Hebels *d* ziehende Feder *f* in seine alte Stellung zurückgezogen.

Der Hebelarm *d* schlägt mit seinem Ende auf der rechten Seite schon auf, bevor noch der Anker *c* vollständig in Berührung mit den Polen des Elektromagnets gekommen ist, weil bei vollkommen anliegendem Anker der Elektromagnet nach Unterbrechung des Stromes seinen Magnetismus nicht ganz verliert, wodurch der Gang des Apparates sehr erschwert und unsicher werden würde.

An seinem linken Ende trägt der Hebel *d* einen Stahlstift, welcher bei jedem Niedergange des Stabes *c* gegen einen Papierstreifen gedrückt wird, den ein Uhrwerk mit gleichmässiger Geschwindigkeit fortzieht.

Das erste Rad *g* dieses Uhrwerkes wird durch ein an der Welle desselben angehängtes Gewicht langsam umgedreht, und diese Bewegung wird durch mehrere Zwischenräder auf die Walze *h* übertragen, welche sich mit grösserer Geschwindigkeit umdreht. Die Umdrehung der Walze *h* bewirkt durch Reibung die Umdrehung der gleich grossen Walze *r*. Zwischen beiden steckt ein Papierstreifen, welcher von einer, etwa an der Decke des Zimmers befestigten Rolle kommt. Ist das Uhrwerk im Gange,

so wird der Papierstreifen mit gleichförmiger Geschwindigkeit, ungefähr 1 Zoll in der Secunde, fortgezogen.

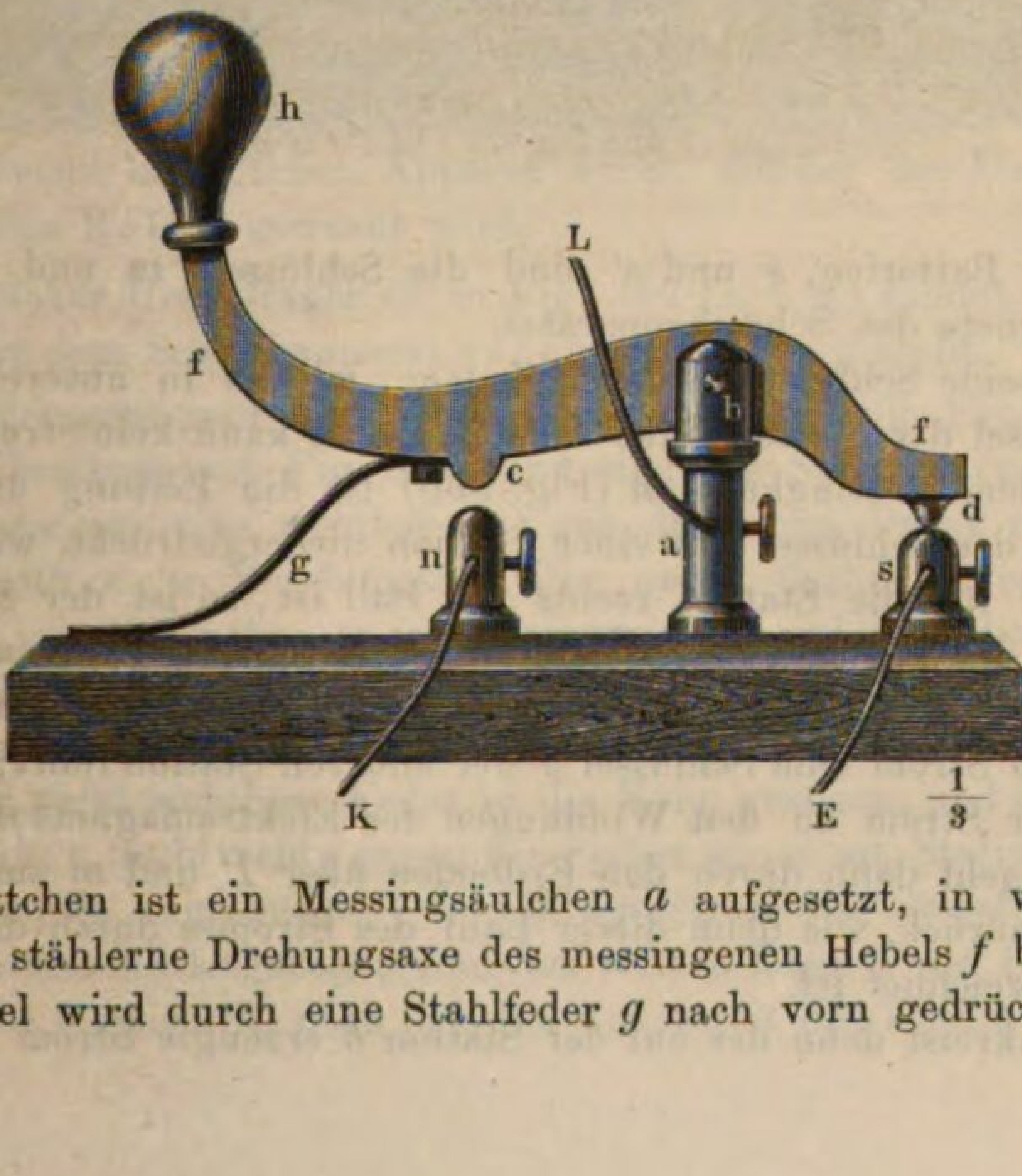
In der Mitte der Rolle *r* befindet sich eine Rinne, von welcher ein Theil noch in der Figur sichtbar ist. In diese Rinne wird nun der Stift hineingedrückt, wenn *c* niedergezogen wird; es presst also der Stift eine Vertiefung in den die Rinne überdeckenden Papierstreifen. Wird der galvanische Strom nur für einen Augenblick geschlossen, so drückt der Stift einen Punkt in das Papier, bleibt aber der Strom einige Zeit geschlossen, so entsteht ein Strich, weil ja das Papier unterdessen fortgezogen wird. Aus Punkten und Strichen ist nun das Alphabet zusammengesetzt, und zwar das bei uns übliche folgendermaassen:

a · —	g — — ·	n — ·	t —
b — · · ·	h · · · ·	o · — · · ·	u · · —
c — · — ·	i · ·	p · · · · ·	v · · · —
d — · ·	k — · —	q — — · —	w · — —
e ·	l · — · ·	r · — ·	x · · — · · ·
f · · — ·	m — —	s · · ·	y · — — · · ·
	z · — — · ·		

Aehnliche Zeichen hat man für die Zahlen und Interpunktionen.

Zum sicheren Schliessen und Oeffnen der Kette dient ein Apparat, der den Namen des **Schlüssels** führt. Der Schlüssel des **Morse**'schen Apparates ist Fig. 360 in $^1/_3$ der natürlichen Grösse abgebildet. Auf

Fig. 360.



einem Brettchen ist ein Messingsäulchen *a* aufgesetzt, in welchem die horizontale stählerne Drehungsaxe des messingenen Hebels *f* befestigt ist. Dieser Hebel wird durch eine Stahlfeder *g* nach vorn gedrückt, so dass

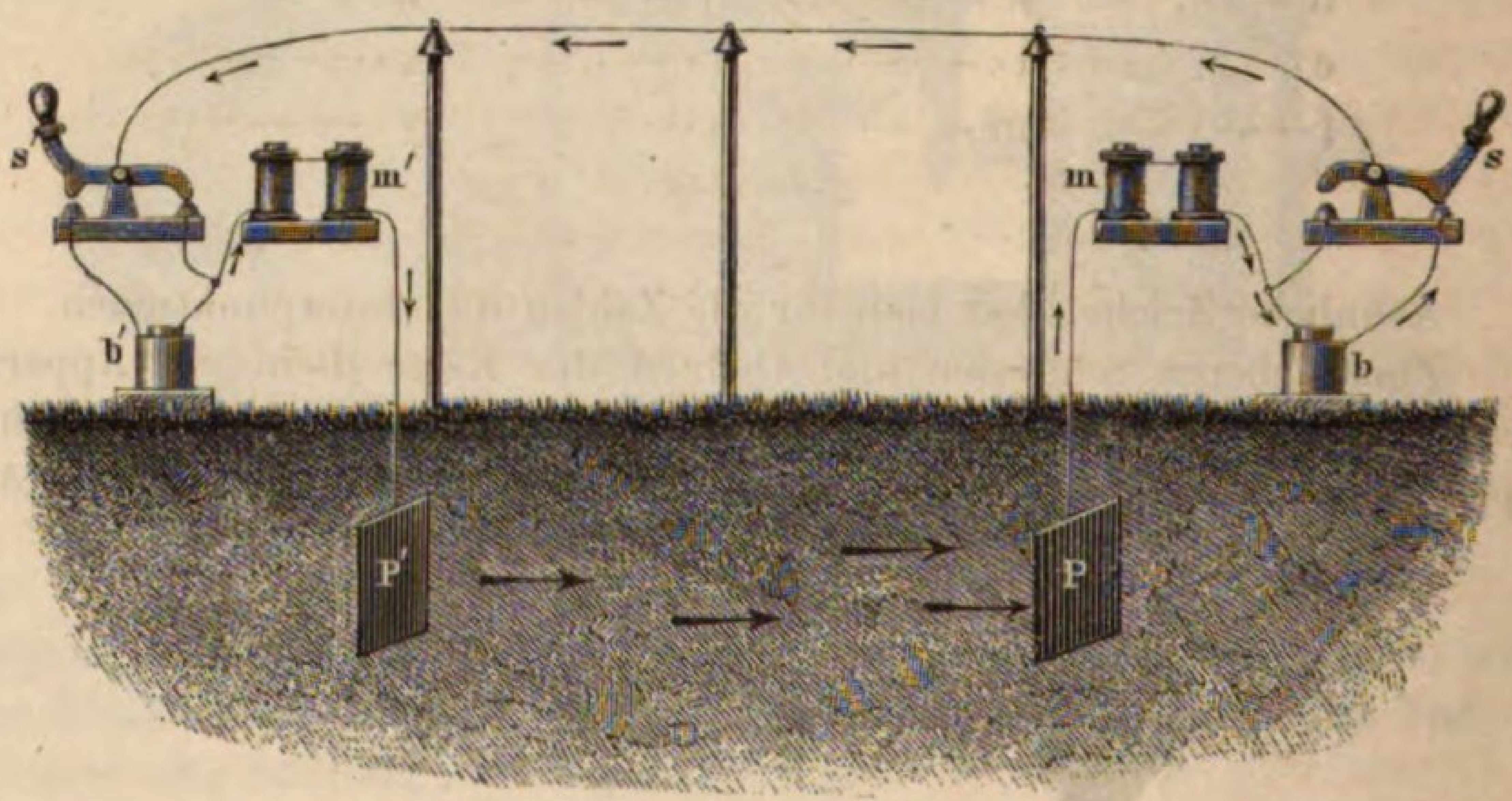
die Messingwarze *d* auf dem Messingsäulchen *s* aufsitzt. Drückt man den Hebel, am Handgriff *h* anfassend, nieder, so kommt die Hervorragung *c* des Hebels *f* mit dem Messingsäulchen *n* in Berührung, während die vordere Spitze des Hebels nun in die Höhe gehoben ist, also nicht mehr mit dem Säulchen *s* in leitender Verbindung steht.

Das Messingsäulchen *a* ist durch den Draht *L* mit der Drahtleitung in Verbindung gesetzt, welche zur nächsten Station führt.

Von *n* führt ein Draht *K* zu dem einen Pol, etwa dem Kupferpol der galvanischen Batterie. Von *s* geht ein Draht *E* aus, der sich alsbald spaltet, indem der eine Theil zum Zinkpol der Batterie, der andere zu den Windungen des Elektromagnets führt, von dem aus dann die Leitung weiter zu einer in den feuchten Boden vergrabenen Kupferplatte, der sogenannten Erdplatte, geführt ist.

Fig. 361 stellt zwei mit einander verbundene Stationen dar. *b* und

Fig. 361.



b' sind die Batterien, *s* und *s'* sind die Schlüssel, *m* und *m'* sind die Elektromagnete des Schreibapparates.

Sind beide Schlüssel in der Ruhelage, wie es in unserer Figur bei dem Schlüssel der Station links der Fall ist, so kann kein Strom entstehen, denn bei dem Messingkegel *n* (Fig. 360) ist die Leitung unterbrochen. Wird aber der Schlüssel auf einer Station niedergedrückt, wie es in unserer Figur für die Station rechts der Fall ist, so ist der Schliessungsbogen für die Batterie dieser Station hergestellt, der Strom geht vom positiven Pol der Batterie *b* durch den Schlüssel *s* zum Leitungsdraht, welcher den Strom zum Schlüssel *s'* der anderen Station führt; von diesem gelangt der Strom zu den Windungen des Elektromagnets *m'*, zur Erdplatte *P'*, geht dann durch den Erdboden über *P* und *m* zum negativen Pol von *b* zurück, wie denn dieser Lauf des Stromes durch die Pfeile hinlänglich bezeichnet ist.

So umkreist denn der auf der Station *b* erzeugte Strom die Elektro-

magnete beider Stationen; die Batterie b' der anderen Station ist nicht geschlossen, kann also keinen Strom aussenden.

Will der Telegraphist der einen Station, etwa der rechten, eine Depesche abgehen lassen, so drückt er mehrmals rasch hintereinander seinen Schlüssel nieder, wodurch ein abwechselndes An- und Abziehen der Anker beider Elektromagnete erfolgt. Das dadurch hervorgebrachte Klappern macht den Telegraphisten der anderen Station aufmerksam, welcher nun, nachdem er auf ähnliche Weise geantwortet hat, sein Uhrwerk mittelst des kleinen Hebels n (Fig. 359) auslöst und seinen Papierstreifen laufen lässt. Der Telegraphist der sprechenden Station drückt nun in den gehörigen Intervallen seinen Schlüssel nieder, um dadurch auf dem Streifen der anderen Station die beabsichtigten Zeichen, Punkte und Striche hervorzubringen. Zum Zeichen, dass die Depesche beendigt ist, macht er eine Reihe von 20 bis 30 gleichmässig auf einander folgenden Punkten.

Ganz so einfach, wie es eben beschrieben wurde, bleibt aber die Sache in der Praxis doch nicht. Der Strom, welcher erforderlich ist, um einen Morse'schen Schreibapparat in Gang zu setzen, muss ziemlich stark sein, denn sonst wird der Anker c nicht mit hinlänglicher Kraft angezogen, der Stahlstift nicht mit hinlänglicher Kraft gegen das Papier gedrückt, um deutliche Eindrücke in demselben hervorzubringen; um aber einen zu diesem Zweck hinlänglich starken Strom durch eine so lange Drahtleitung zu senden, müsste man eine übermässig starke Batterie anwenden. Um mit mässigen Batterien auszureichen, hat man folgende sinnreiche Einrichtung getroffen.

An jeder Station befinden sich zwei Batterien. Die eine, welche den Namen der Hauptbatterie führt, besteht für eine Entfernung von ungefähr 10 Meilen aus sechs Zinkkohlenbechern. Diese Batterie ist es, welche ihren Strom zur nächsten Station sendet und dort auf einen ausserordentlich leicht beweglichen Apparat wirkt, welcher der Uebertrager oder auch das Relais genannt wird.

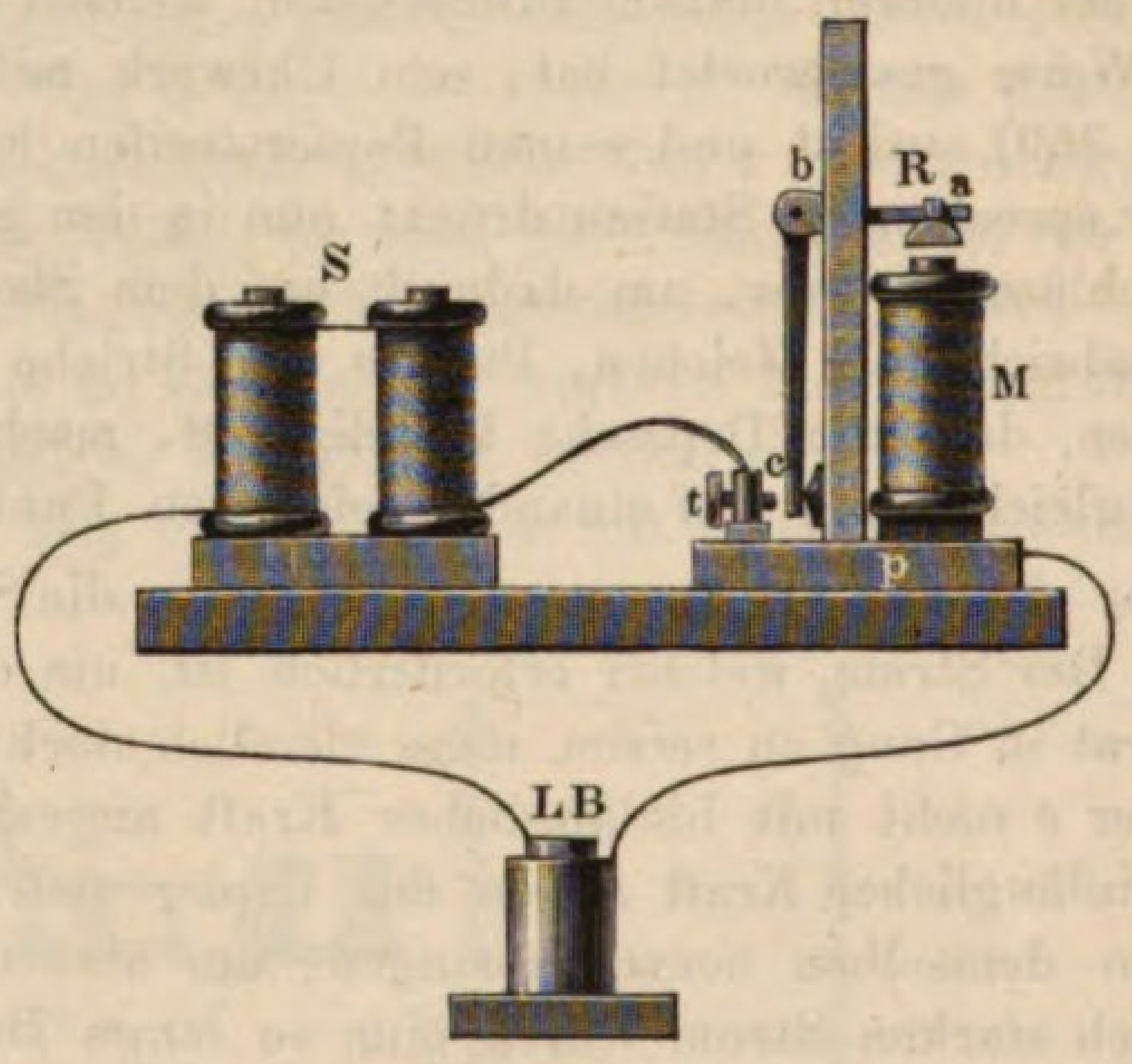
Ein solcher Uebertrager ist in Fig. 362 (a. f. S.) sammt seiner Combination mit dem Schreibapparat schematisch dargestellt.

Der Elektromagnet M hat im Wesentlichen dieselbe Einrichtung wie der am Schreibapparat Fig. 359, nur sind die Spiralen (von denen in unserer Figur nur eine sichtbar ist) aus dünnerem Draht gebildet und haben deshalb mehr Windungen. Der unten flache Anker steht dem Eisenkerne ziemlich nahe; er ist an einem rechtwinklig gebogenen eisernen Winkelhebel abc befestigt, dessen Drehungsaxe durch ein messingenes Gestell getragen wird. Dieser Winkelhebel nun wird durch eine in unserer Figur nicht sichtbare Feder in die Höhe gezogen, und dadurch sein unteres Ende c nach rechts gegen die Spitze eines am Stativ befestigten Schraubenkopfes angedrückt. Sobald ein Strom die Spirale durchläuft, wird der Anker niedergezogen und das untere Ende c des Hebels gegen die Schraube t gedrückt, noch ehe der Anker mit den Eisenkernen in Be-

rührung kommt. Der Spielraum für den Hebel ist sehr klein; da nun ferner der Hebel sehr leicht beweglich ist, und der Anker den Eisenkernen sehr nahe steht, so reicht schon ein sehr schwacher, die Spirale durchlaufender Strom hin, um diese Bewegung hervorzubringen.

Nun befindet sich aber an jeder Station eine zweite Säule, die Localbatterie, aus 3 bis 4 Zinkkohlenbechern bestehend, in deren Schliessungsbogen der Schreibapparat eingeschaltet ist; die eben besprochene Bewegung des Winkelhebels dient nur dazu, diese Kette zu schliessen und wieder zu öffnen.

Fig. 362.



Von dem einen Pole, etwa dem positiven der Localbatterie, geht nämlich ein Draht zur Messingplatte p, mit welcher der Winkelhebel in leitender Verbindung steht. Der kleine Messingpfeiler aber, in welchem die Schraube t steckt und welcher durch eine Unterlage von Elfenbein oder Holz vor der leitenden Berührung mit p geschützt wird, ist durch einen Leitungsdraht mit dem einen Drahtende der Spirale des Schreibapparates verbunden, von deren anderem Ende ein Draht zum negativen Pole der Localbatterie führt. Man sieht also, dass die Localbatterie nicht geschlossen ist, so lange kein Strom durch die Spiralen des Uebertragers geht, weil sich eine Unterbrechungsstelle zwischen der mit dem negativen Pol verbundenen Schraube t und dem mit dem positiven Pole verbundenen Winkelhebel befindet. Sobald aber die Spiralen des Uebertragers durch den von der anderen Station kommenden Strom durchlaufen werden, findet die Schliessung der Kette bei c statt, und nun wird auch der Schreibapparat von dem Strome der Localbatterie durchflossen, der natürlich sehr kräftig ist, weil er ausser den Windungen der Spiralen bei S nur eine ganz unbedeutende Drahtlänge zu durchlaufen hat.

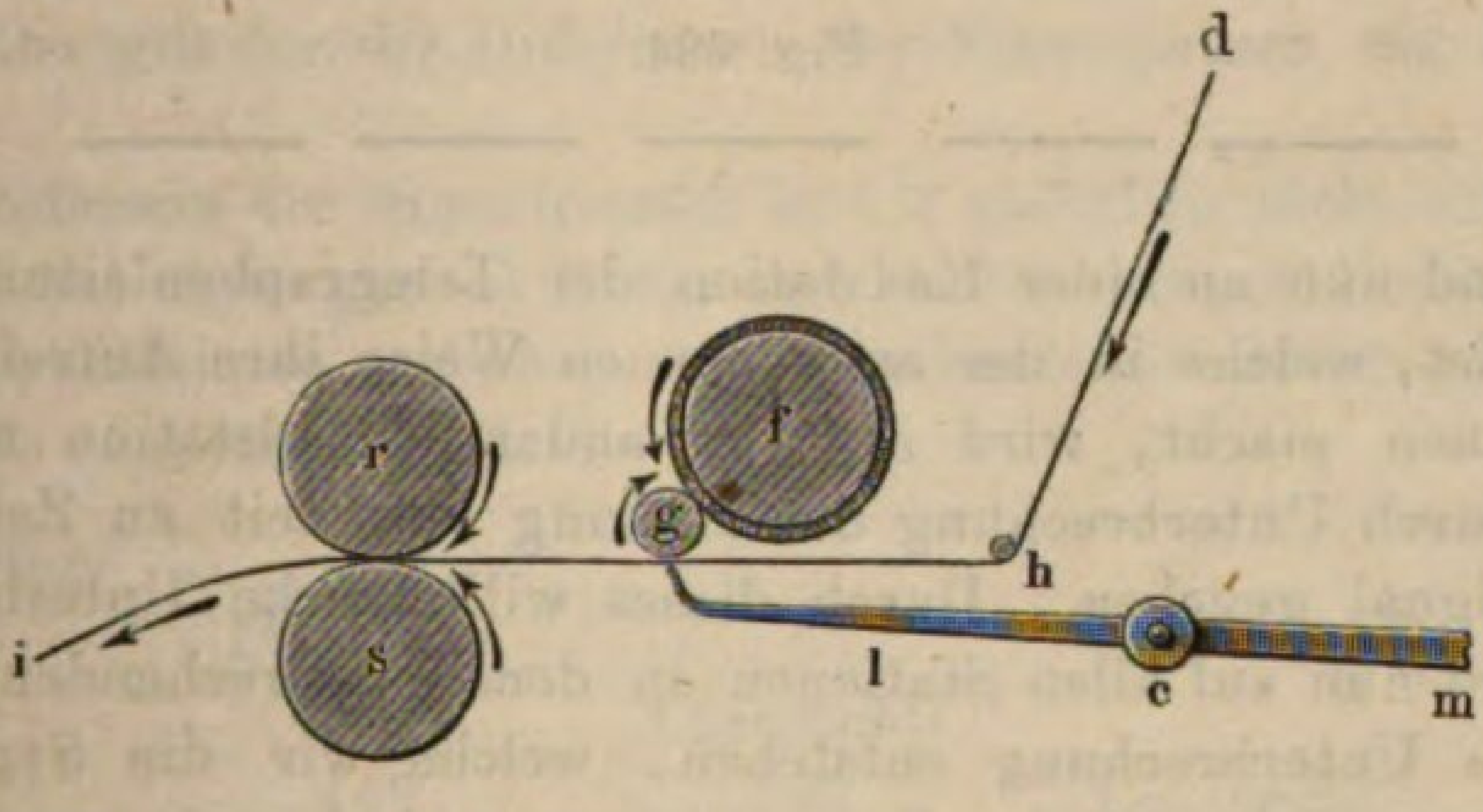
Die Bedeutung der Fig. 361 wird nun durch Einführung des Uebertragers eine etwas andere; m und m' stellen nämlich nicht, wie anfangs angenommen wurde, die Elektromagnete der Schreibapparate an beiden Stationen, sondern die Elektromagnete der beiden Uebertrager dar.

Sobald der Telegraphist einer Station den Schlüssel niederdrückt, wie es in Fig. 361 auf der Station rechts der Fall ist, so sendet er den Strom seiner Hauptbatterie durch die Spiralen der Uebertrager auf beiden Stationen; dadurch aber werden die Localbatterien auf beiden Stationen

geschlossen, und auf beiden Stationen der Anker des Schreibapparates angezogen.

Eine wesentliche Verbesserung des Morse'schen Apparates ist der sogenannte Schwarzschreiber. Die Schrift des Morse'schen Schreibhebels markirt sich durch Vertiefungen im Papier, deren Sichtbarkeit von der Beleuchtung abhängig, überhaupt nicht sehr in die Augen fallend sind. Dazu kommt noch, dass eine bedeutende Kraft der Localbatterie dazu gehört, um die Eindrücke des Stiftes hinlänglich zu markiren. Um diese Uebelstände zu beseitigen, wurden viele vergebliche Versuche gemacht, bis die Aufgabe endlich durch den Schwarzschreiber gelöst wurde, dessen Einrichtung aus der schematischen Figur 363 zu ersehen ist.

Fig. 363.



Der Papierstreifen dhi wird wie beim Morse'schen Apparat durch die beiden mit gleichförmiger Geschwindigkeit sich umdrehenden Metallcylinder r und s fortgezogen. f ist eine um ihre Axe drehbare Walze, deren aus Tuch oder Filz bestehender Ueberzug mit öliger Tinte getränkt ist. Dieser Filzcylinder berührt die gleichfalls um ihre Axe drehbare Metallscheibe g und befeuchtet sie an ihrem äusseren Rande mit der Farbe. Wenn der Elektromagnet nicht in Thätigkeit ist, bewegt sich der Papierstreifen dicht unter der Scheibe g fort, ohne sie zu berühren, sobald aber der Strom des Elektromagnets geschlossen wird, wird der Papierstreifen durch die Spitze des um c drehbaren Schreibhebels lm an den Rand des Rädchens g angedrückt und ein Punkt oder ein Strich gemacht, je nachdem die Schliessung des Stromes nur momentan ist oder einige Zeit dauert. Eine Drehung von g und f erfolgt nur so lange der Papierstreifen durch den Schreibhebel an den Umfang des Rädchens g angedrückt ist.

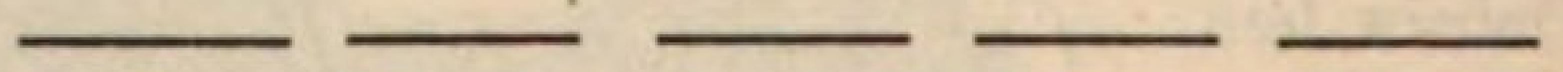
Dieser Apparat bietet ausser dem Vortheil einer ungleich leserlicheren Schrift auch noch den Vortheil, dass die Bewegung des Schreibhebels hier nur eines geringen Kraftaufwandes bedarf, so dass man auf nicht zu grosse Entfernungen hin das Relais und die Localbatterie ganz entbehren kann.

140 **Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität.** Mit Hülfe der elektrischen Telegraphen Nordamerikas haben Walker und Gould die Geschwindigkeit der Stromverbreitung in den Leitungsdrähten bestimmt.

Die auf den verschiedenen Stationen aufgestellten Telegraphen sind Morse'sche. Die Einrichtung ist so getroffen, dass in der Ruhelage alle Schlüssel geschlossen sind und also ein Strom ununterbrochen in den Leitungsdrähten circulirt.

Nehmen wir nun an, dass am einen Ende einer langen Leitung durch das Pendel einer Uhr bei jeder Schwingung für einen Augenblick der Strom unterbrochen und unmittelbar darauf wieder geschlossen wird, so werden die Aufzeichnungen der einzelnen Stationen das Ansehen von Fig. 364 haben.

Fig. 364.



Während nun an einer Endstation der Telegraphenleitung die Uhr aufgestellt ist, welche in der angegebenen Weise ihre Aufzeichnung auf allen Stationen macht, wird auf der anderen Endstation mittelst des Schlüssels durch Unterbrechung der Leitung von Zeit zu Zeit ein willkürliches Signal gegeben. Durch dieses willkürliche Unterbrechen des Stromes wird nun auf allen Stationen in dem entsprechenden Secundenstriche eine Unterbrechung entstehen, welche wir die Signalpause nennen wollen, während der Zwischenraum zwischen je zwei Secundenstrichen die Uhrpause genannt werden soll.

Bei den Versuchen vom 4. Februar 1850 war die Uhr in Washington aufgestellt, während die willkürlichen Unterbrechungen in St. Louis gemacht wurden.

Um leichter auffinden zu können, welches die entsprechenden Secundenstriche der verschiedenen Stationen sind, war die Einrichtung getroffen, dass zu Anfang jeder Minute eine Uhrpause ausblieb.

Wegen des ungleichen Ganges der verschiedenen Telegraphen fällt nun freilich die Länge der Secundenstriche, der Uhr- und der Signalpausen nicht auf allen Stationen ganz gleich aus, es ist jedoch leicht, sie auf gleiche Länge zu reduciren.

Es fand sich nun, dass die Signalpause auf den verschiedenen Stationen nicht an der gleichen Stelle des entsprechenden Secundenstriches markirt wurde; in St. Louis lag die Signalpause näher am Anfange, in

Fig. 365.



Washington lag sie näher am Ende des Striches, welcher der gleichen Secunde angehört, wie dies Fig. 365 angedeutet ist.

Aus der Differenz in der Lage der Spiralpausen lässt sich nun auf die Geschwindigkeit der Stromverbreitung schliessen.

Es werde in einem bestimmten Moment, etwa in der Mitte einer Secunde, in St. Louis ein willkürliches Signal gegeben, so ist in diesem Augenblicke noch nicht die Hälfte des entsprechenden Secundenstriches angekommen, die Signalpause wird also in St. Louis vor der Mitte des Secundenstriches aufgezeichnet. In Washington dagegen wird zwar in der Hälfte der Secunde auch die Mitte des Secundenstriches gemacht, aber die von St. Louis kommende Signalpause wird erst später notirt, und so ergiebt sich dann, dass die Differenz von der Mitte der Signalpause in St. Louis bis zur Mitte der entsprechenden Signalpause in Washington das Doppelte der Zeit ist, welche der elektrische Strom braucht, um sich von der einen Endstation bis zur anderen fortzupflanzen.

Dasselbe gilt für die Differenzen der Signalpausen der Zwischenstationen.

Die Differenz der Signalpausen wurde natürlich nicht aus einer, sondern als Mittel einer ganzen Reihe von Beobachtungen bestimmt.

Die Drahtlängen zwischen den verschiedenen Stationen waren folgende (nach englischen Meilen):

Washington				
288	Pittsburg			
622	334	Cincinnati		
747	459	125	Louisville	
1036	748	414	289	St. Louis.

Als die Signale in St. Louis gegeben wurden, ergaben sich folgende Differenzen zwischen den Aufzeichnungen von Washington und den anderen Stationen:

Aufzeichnung.	Zahl der Beobachtungen.	Intervall.	Geschwindigkeit.
Pittsburg	37	0,0373″	15 442 Meilen
Cincinnati	46	0,0844	14 748 „
Louisville	46	0,1163	12 846 „
St. Louis	36	0,1108	13 484 „

Ebenso wurden die Differenzen der Signalpausen bestimmt, als die willkürliche Unterbrechung an den verschiedenen Zwischenstationen gemacht wurde.

Als Mittel aus sämmtlichen an diesem Tage gemachten Beobachtungen ergab sich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des elektrischen Stromes gleich 14900 englische Meilen.

In der folgenden Tabelle ist dieses Resultat mit den anderen nach der gleichen Methode an verschiedenen Tagen erhaltenen zusammengestellt. Washington war stets die eine Endstation.

Datum.	Endstation.	Geschwindigkeit.
23. Januar 1849 . . .	Cambridge	18 000
31. October 1849 . . .	Cincinnati	18 330
4. Februar 1850 . . .	St. Louis	14 900
5. Februar 1850 . . .	Charleston	16 856

Als Mittelwerth ergiebt sich daraus eine Geschwindigkeit von 17021 englische Meilen in der Secunde.

Nach Wheatstone's sinnreichem Versuch (S. 181) ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität 288000 englische Meilen in der Secunde, also ungefähr 18 mal grösser, als nach den amerikanischen Versuchen.

Wheatstone's Leitung war durch Kupferdrähte gebildet, welche $1{,}7^{mm}$ Durchmesser hatten, während zur amerikanischen Telegraphenleitung Eisendraht von 3^{mm} Durchmesser verwendet worden war. Der specifische Leitungswiderstand des Eisens ist 6 mal so gross als der des Kupfers, dagegen hatten die amerikanischen Drähte einen ungefähr 3 mal grösseren Querschnitt als jene; bei gleicher Länge war daher der Leitungswiderstand der amerikanischen Leitung nahezu doppelt so gross, als beim Wheatstone'schen Versuch; auf die Ungleichheit des Leitungswiderstandes lässt sich also der bedeutende Unterschied der Wheatstone'schen und Walker'schen Resultate nicht zurückführen, man muss also wohl annehmen, dass dieser Unterschied wesentlich dadurch bedingt ist, dass das eine Mal mit Reibungselektricität experimentirt wurde, während das andere Mal ein galvanischer Strom zur Anwendung kam.

Als durch Einschaltung einer weiteren galvanischen Batterie die elektromotorische Kraft vergrössert wurde, ergab sich kein merklicher Zuwachs in der Geschwindigkeit; daraus folgt jedoch noch nicht, dass die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität von der elektromotorischen Kraft der Stromquelle unabhängig sei.

141 **Galvanisch registrirende Uhren.** Im vorigen Paragraphen haben wir gesehen, wie man die Combination des elektrischen Telegraphen mit einer Pendeluhr benutzte, um die Geschwindigkeit des galvanischen Stroms zu ermitteln. Auf demselben Princip beruhen auch die von dem Amerikaner Locke zuerst in Anwendung gebrachten galvanisch

registrirenden Uhren, welche für astronomische Beobachtungen von dem grössten Werthe sind. Wird bei jedem Schlage des Pendels einer astronomischen Uhr die Kette geschlossen, in deren Schliessungsbogen eine dem Morse'schen Telegraphen ähnliche Vorrichtung eingeschaltet ist, so wird der Stift bei jedem Secundenschlage einen Punkt oder (wenn die Schliessung etwas längere Zeit dauert) einen Strich auf dem mit gleichmässiger Geschwindigkeit vorwärts bewegten Papierstreifen machen. Beim Locke'schen Apparate ging der Papierstreifen mit einer solchen Geschwindigkeit voran, dass die Secundenpunkte ungefähr einen Zoll von einander abstanden.

Neben dem Elektromagnet dieses Schreibapparates ist aber noch ein zweiter angebracht, dessen Windungen einer anderen Kette angehören, welche der Beobachter beliebig schliessen kann, indem er mit dem Finger eine Taste anschlägt. Durch die Schliessung dieser zweiten Kette wird nun gleichfalls ein Stift gegen den Papierstreifen gedrückt; bei wiederholtem Anschlagen entsteht so auf dem Papierstreifen neben der ersten Reihe von Punkten, den Secundenpunkten, eine zweite, welche wir Beobachtungspunkte nennen wollen.

Ist nun z. B. eine Sonnenfinsterniss zu beobachten, also genau der Moment anzugeben, in welchem der Mondrand an die Sonne tritt, so schaut der Beobachter durch das Fernrohr und hält den Finger an die Taste, welche er niederdrückt, sobald er die fragliche Erscheinung wahrnimmt. Auf diese Weise wird der Beobachtungsmoment auf dem Papierstreifen markirt.

Steht der Beobachtungspunkt neben dem Secundenpunkte, so trifft der Beobachtungsmoment mit dem Beginn einer Secunde zusammen und der Anfang der Finsterniss tritt um so viel Uhr, Minuten und Secunden ein. Steht der Beobachtungspunkt nicht genau neben einem, sondern zwischen zwei Secundenpunkten, so kann man mit dem Zirkel die Entfernung des Beobachtungspunktes von dem vorhergehenden Secundenpunkte auf dem Papierstreifen abmessen und danach (mittelst einer Scala) bestimmen, wie viel Zehntel und, wenn man will, Hundertel einer Secunde noch zu der nächst vorhergehenden Secunde hinzukommen. So ist es möglich, den Zeitpunkt einer Beobachtung bis auf Hundertel-Secunden genau zu ermitteln.

Diese grosse Genauigkeit der Ablesung ist ein wesentlicher Vorzug der galvanisch registrirenden Uhren.

Bisher musste man die Uhr immer neben sich haben, um die Secunden zu hören, und konnte eine Beobachtung nicht gerade in der unmittelbaren Nähe der Uhr gemacht werden, so war dies, selbst wo alle Hülfsmittel gegeben waren, eine sehr umständliche Sache; bei einer registrirenden Uhr dagegen ist es ganz gleichgültig, wo sie steht, da man die Drahtleitung leicht durch alle Zimmer einer Sternwarte führen kann; es ist nicht einmal erforderlich, dass die astronomische Uhr im Beobachtungssaale selbst ihren Platz habe, vielmehr erscheint es zweckmässiger, sie in

einem Wohnzimmer oder Büreau — natürlich an einem isolirten Pfeiler — aufzustellen, wo sie keiner grossen Temperaturveränderung ausgesetzt ist und einen gleichmässigen Gang einhalten kann.

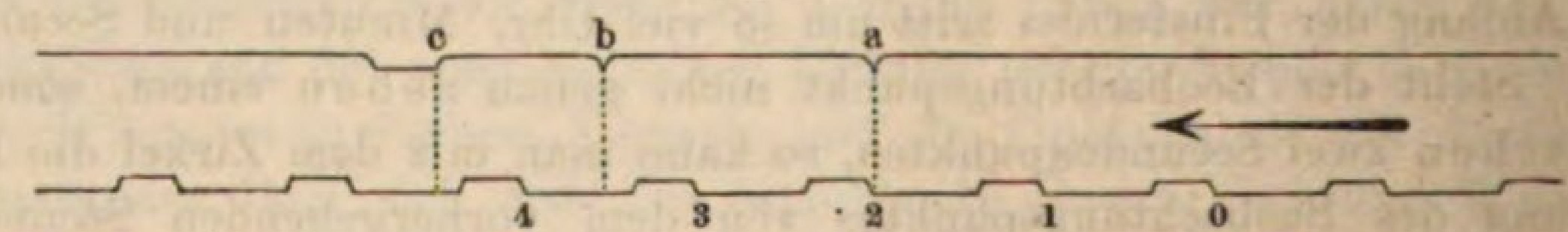
Eine registrirende Uhr lässt sich ferner noch mit dem elektrischen Telegraphen in Verbindung bringen und zu mannigfaltigen Zwecken benutzen. Dieselbe Uhr kann z. B. einen Registrirapparat an der Münchener und einen an der Wiener Sternwarte haben, und wenn an beiden Orten der Durchgang derselben Sterne durch den Meridian beobachtet wird, so lässt sich daraus mit einer bisher nie erreichten Sicherheit die geographische Längendifferenz ableiten.

In neuerer Zeit hat man die galvanisch registrirenden Apparate durch Anwendung von Schwarzschreibern wesentlich vervollkommnet. Hasler in Bern construirt dieselben in folgender Weise: Der 22 Millimeter breite Papierstreifen wird mit gleichförmiger Geschwindigkeit über einer ebenen horizontalen Metallplatte hingezogen; auf diesem Papierstreifen laufen beständig die Rädchen zweier Schwarzschreiber so, dass, wenn die Elektromagnete ganz ausser Thätigkeit blieben, zwei parallele ungefähr 8^{mm} von einander abstehende Linien gezogen würden.

Jeder der beiden Schwarzschreiber ist nun mit einem Elektromagneten verbunden, durch dessen Schliessung er in horizontaler Richtung etwas gegen den andern Schwarzschreiber hin verschoben wird.

Der eine Elektromagnet wird mit jedem Pendelschlage der Uhr auf kurze Zeit geschlossen und so die Secunden in der Weise markirt, wie es die untere Linie der Fig. 366 darstellt, welche die Copie eines mit einem

Fig. 366.



solchen Apparate beschriebenen Papierstreifens ist. Man ersieht aus dieser Figur, dass der Papierstreifen in jeder Secunde ungefähr $10{,}75^{mm}$ fortgezogen wird und dass der von der Uhr kommende Strom in jeder Secunde auf die Dauer von ungefähr 0,4 Secunden geschlossen bleibt.

Die Beobachtungsmomente werden nun auf der oberen Linie markirt und zwar wie man bei *a* und *b* sieht, wenn die Schliessung nur ganz kurz, oder wie man bei *c* sieht, wenn die Schliessung etwas länger dauert.

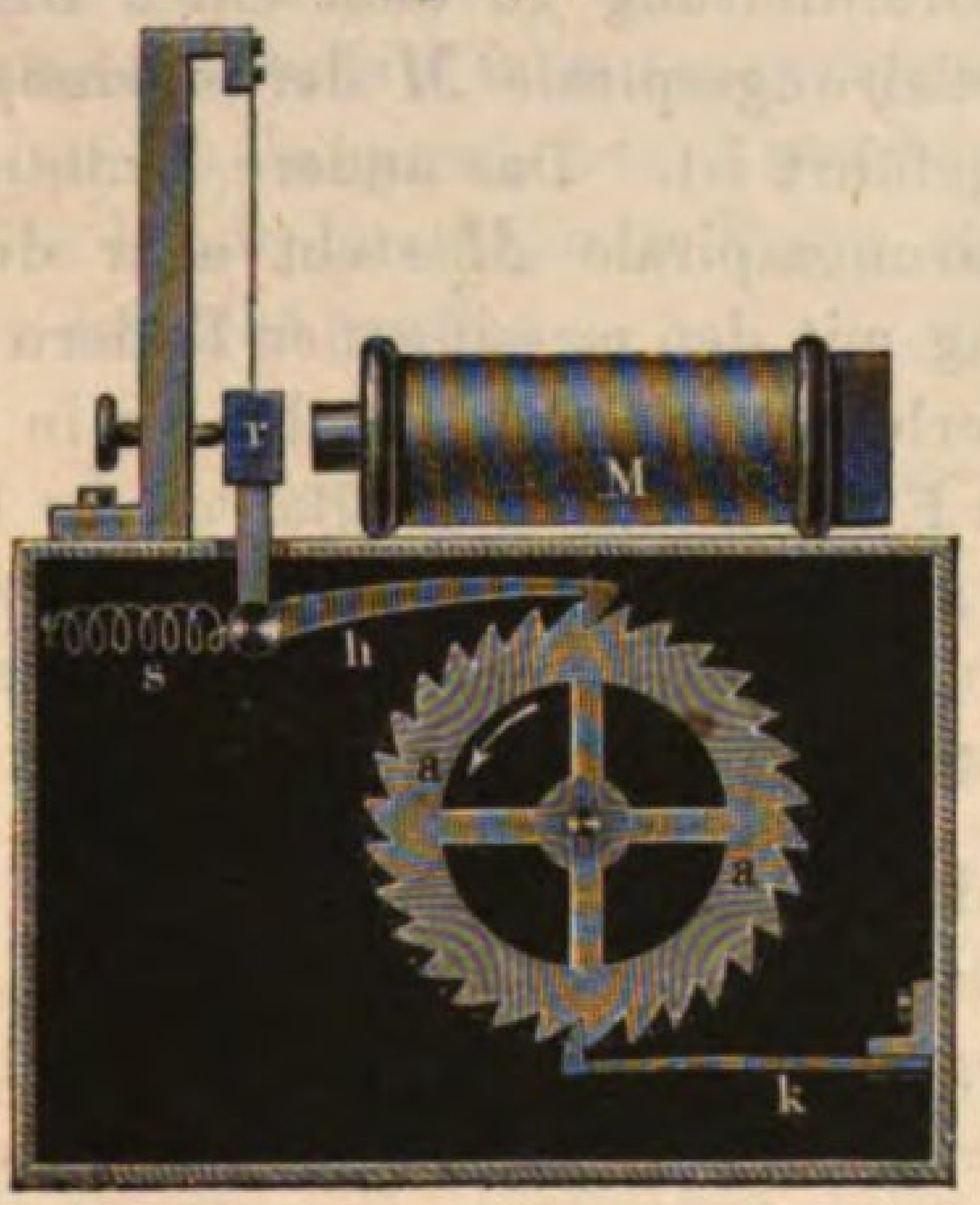
Lamont hat den Papierstreifen durch eine mit Russ geschwärzte Metalltrommel ersetzt, welche durch ein Uhrwerk mit gleichförmiger Geschwindigkeit um ihre horizontale, auf beiden Seiten der Walze vorragende stählerne Axe gedreht wird. Die eine Hälfte dieser Axe ist nun (ähnlich wie bei dem Phonautograph von König, Fig. 498 Seite 436 des ersten Bandes) mit einem Schraubengewinde versehen, so dass beim

Umdrehen der Walze auch ein gleichförmiges Fortschieben derselben in der Richtung ihrer Längenaxe stattfindet; die Secundenpunkte, welche durch einen in Folge der Schliessung der Kette an die Walze angedrückten Stift hervorgebracht werden, bilden demnach auf derselben eine flache Spirale.

Die Beobachtungspunkte werden durch einen dicht neben dem ersteren angebrachten Stift markirt. (Lamont's Beschreibung der an der Münchener Sternwarte verwendeten neuen Instrumente und Apparate, München 1851.)

Elektrische Uhren. Mit dem Namen der elektrischen Uhren 142
bezeichnet man gewöhnlich solche Apparate, bei welchen der Gang einer Normaluhr durch Vermittelung des galvanischen Stromes auf ein oder mehrere andere Uhrwerke übertragen wird. Wie eine solche Uebertragung bewerkstelligt wird, mag durch die schematische Darstellung der elektrischen Uhr von Bain, Fig. 367, erläutert werden. Es sei *a* ein Zahnrad von 60 Zähnen, welches die Stelle des Secundenrades vertritt. Die Drehung dieses Rades wird aber nun durch den Elektromagnet *M* in folgender Weise regulirt. So oft der Strom geschlossen wird, in dessen Kreis die Windungen des Elektromagnets *M* eingeschaltet sind, wird der Kern desselben magnetisch und zieht den Anker *r* an; dieser Anker trägt aber das Stäbchen *h*, welches mit einem in die oberste Zahnlücke des Rades *a* eingreifenden Haken endet. Sobald *r* angezogen wird, wird *h* nach rechts bewegt, so dass der Haken über dem Rücken des nächsten Zahnes weggleitet und in die nächste Zahnlücke einfällt.

Fig. 367.



Wird nun der Strom unterbrochen, so wird der Haken *h* durch die Spiralfeder *s* zurückgezogen und dadurch das Rad *a* um einen Zahn in der Richtung des kleinen Pfeiles fortgeschoben. — Der Sperrhaken *k* verhindert eine rückgängige Bewegung des Rades *a*.

Wird nun der Strom in jeder Secunde auf kurze Zeit geschlossen, so wird das Rad *a* in jeder Secunde um einen Zahn fortgeschoben; die Bewegung des Secundenrades *a* wird dann in der gewöhnlichen Weise auf ein Minuten- und ein Stundenrad übertragen, und so ist ein Uhrwerk hergestellt, dessen Gang vollkommen mit dem Gang der Normaluhr harmonirt, welche in jeder Secunde die Schliessung und die sofort erfolgende Oeffnung des Stromes besorgt.

Um zu machen, dass der Strom bei jedem Pendelschlag der Normal-

uhr auf kurze Zeit geschlossen wird, hat man verschiedene Vorrichtungen construirt, von denen die in Fig. 368 dargestellte, meines Wissens von Lamont herrührend, wohl die einfachste sein dürfte. An dem unteren Ende des ganz metallischen Pendels ist ein vertical herabreichendes Platinblättchen p eingesetzt, welches bei jedem Pendelschlage und zwar gerade in dem Momente, in welchem das Pendel seine Gleichgewichtslage passirt, die Quecksilberkuppe q durchschneidet. Diese Quecksilberkuppe bildet die obere Gränze einer Quecksilbersäule, welche sich in dem aus Glas oder Elfenbein gebildeten Quecksilbernäpfchen s befindet und in welche von unten her der kupferne Leitungsdraht r hineinragt.

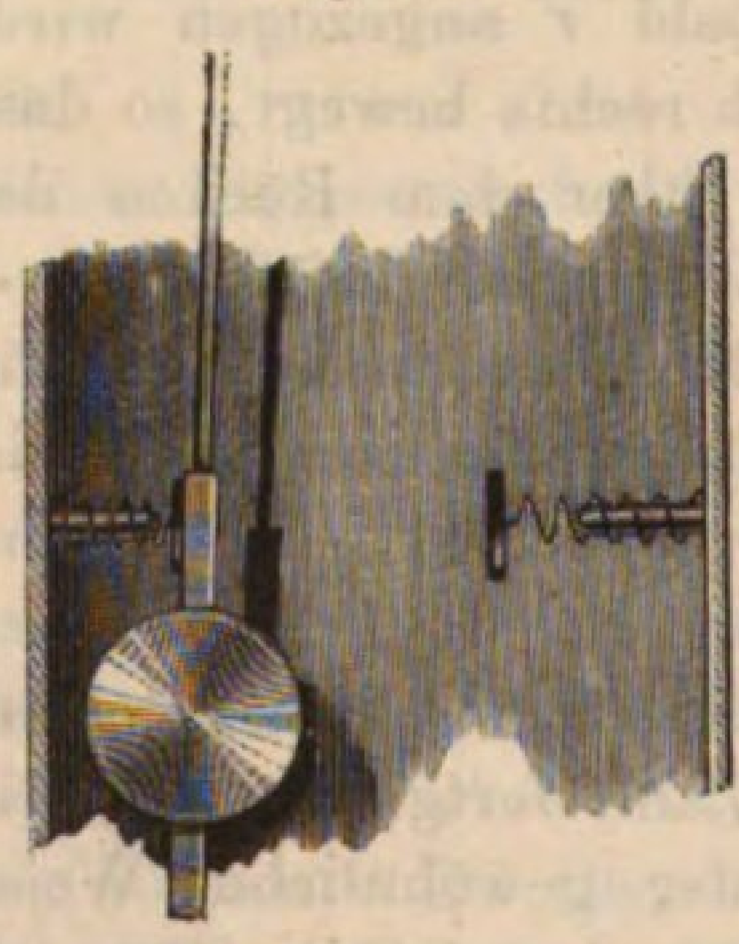
Fig. 368.



Der eine Pol der Volta'schen Säule, welche den Strom liefern soll, ist nun mit dem Draht r in Verbindung gebracht, während vom anderen Pol derselben eine Drahtleitung zu dem einen Drahtende der Magnetisirungsspirale M der secundären Uhr Fig. 367 geführt ist. Das andere Drahtende dieser Magnetisirungsspirale M steht aber durch eine Drahtleitung mit den messingenen Rädern der Normaluhr in Verbindung, deren Pendel die in Fig. 368 dargestellte Einrichtung hat. Bei dieser Einrichtung wird der Strom jedesmal geschlossen, wenn das Platinplättchen p die Quecksilberkuppe q durchschneidet.

Eine andere von Buff herrührende Vorrichtung, um den Strom mit jedem Pendelschlage der Uhr zu schliessen, ist Fig. 369 dargestellt. An jeder Seite des Uhrkastens ist etwas über der Höhe der Pendellinse eine schwache Spiralfeder von Metalldraht angebracht, deren Axe horizontal steht, und welche an dem nach Innen gekehrten Ende eine kleine Metallplatte trägt. Jede dieser beiden Spiralen ist nun mit dem einen, etwa dem positiven Pol der elektromotorischen Batterie in leitende Verbindung gesetzt. Wenn nun das metallische Pendel an dem einen Ende seiner Bahn ankommt, so kommt es mit dem entsprechenden Metallblättchen in Berührung, und zwar wird dabei die Spiralfeder etwas comprimirt, damit ein hinlänglicher Contact zwischen dem Metallblättchen und der Pendelstange stattfindet, wie dies auf der linken Seite unserer Figur dargestellt ist. Von der comprimirten Spiralfeder geht nun der Strom durch das metallische Pendel zu dem

Fig. 369.



messingenen Gestelle der Uhr, um endlich von diesem durch die Windungen des Elektromagnets zum anderen Pole des Elektromotors zurückzukehren.

Wenn nun das Pendel von der in Fig. 369 dargestellten Lage zurückgeht, so wird der Strom alsbald unterbrochen, um erst wieder hergestellt zu werden, wenn das Pendel am anderen Endpunkte seiner Bahn angekommen ist.

In vielen Fällen genügt es, wenn die secundäre Uhr nicht Secunden, sondern nur Minuten zeigt, es genügt, wenn der Minutenzeiger jede Minute um $^1/_{60}$ des Kreisumfangs voranspringt.

Um dies zu erreichen, braucht der Strom, welcher den Elektromagneten M der secundären Uhr, Fig. 367, oder irgend eines entsprechenden Apparates umkreisen soll, nur alle Minute einmal geschlossen zu werden. Das Zahnrad a, Fig. 367, wird dann alle Minute um einen Zahn weiter geschoben und der von ihm geführte Zeiger wird also zum Minutenzeiger.

Wenn der Strom nur alle Minute einmal geschlossen werden soll, so kann dies natürlich nicht durch das Secundenpendel der Normaluhr geschehen, sondern es muss am Secundenrade der Normaluhr eine hier nicht weiter zu besprechende Vorrichtung angebracht sein, durch welche bei jeder Umdrehung dieses Rades eine kurz dauernde Schliessung des Stromes bewirkt wird.

Elektromagnetische Uhren wollen wir zum Unterschied von den im vorigen Paragraphen besprochenen, solche Uhren nennen, bei welchen der elektrische Strom nicht verwendet wird, um den Gang einer Normaluhr auf secundäre Uhren zu übertragen, sondern bei welchen der Strom die Kraft liefert, welche die Uhr im Gange erhält, bei welchen er also das Gewicht oder die Feder unserer gewöhnlichen Uhren ersetzt. 143

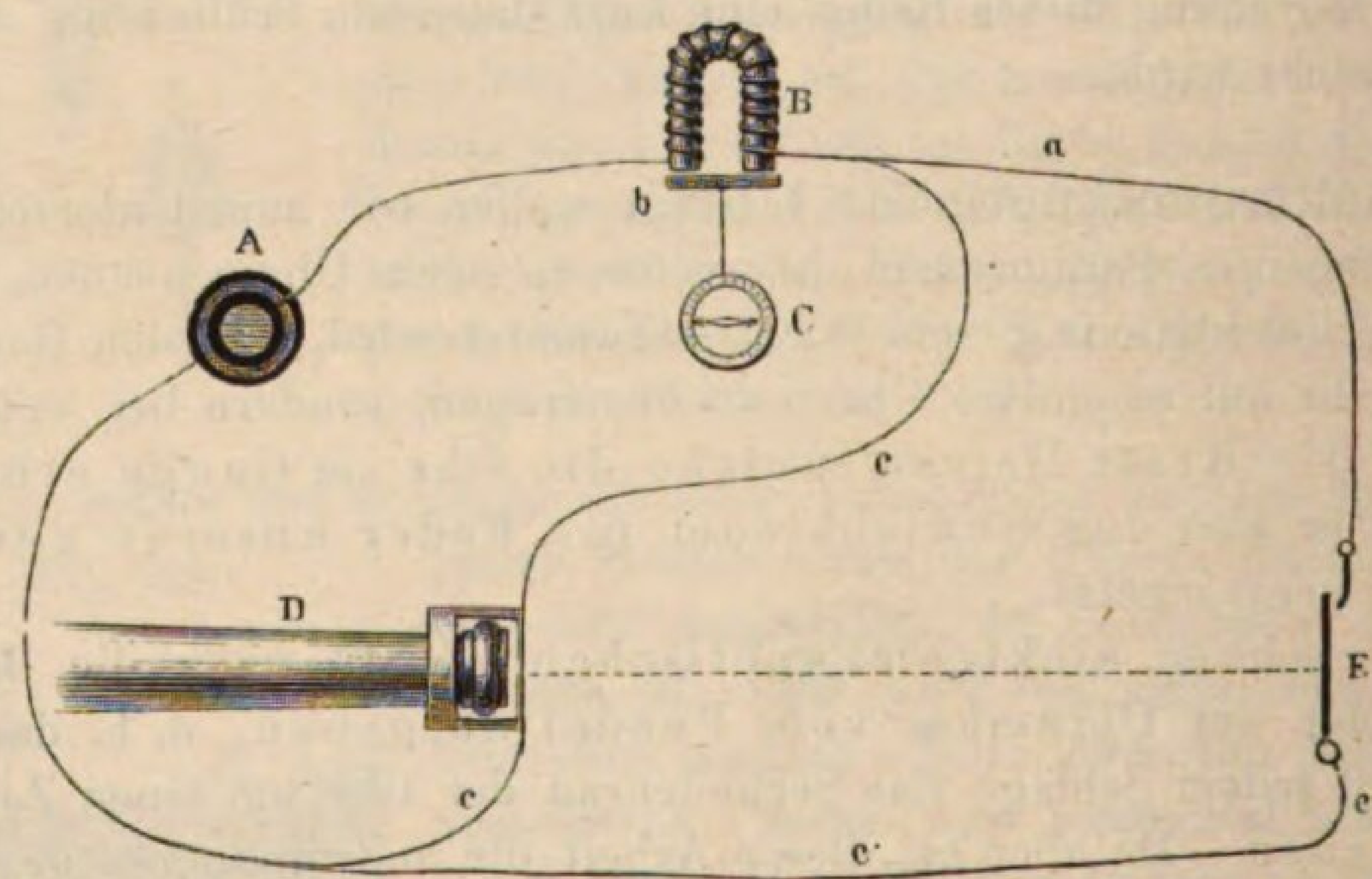
Bei solchen elektromagnetischen Uhren muss die Bewegung der Räder des Uhrwerkes vom Pendel ausgehen, d. h. das Pendel muss mit jedem Schlage das Secundenrad der Uhr um einen Zahn voranschieben. Da aber bei dieser Arbeit die Schwingungen des Pendels sehr rasch abnehmen und alsbald ganz aufhören würden, so muss in entsprechenden Momenten dem Pendel ein neuer Impuls gegeben werden, und dieser Anstoss wird ihm in den hier zu besprechenden Uhren durch einen Elektromagneten ertheilt, der in den entsprechenden Momenten geschlossen wird.

Bei einigen der hierher gehörigen Apparate erfolgt die Schliessung des Stromes, durch welchen der den Impuls ertheilende Elektromagnet in Thätigkeit gesetzt wird, bei jedem Pendelschlage, bei anderen dagegen, wie z. B. bei Hipp's elektromagnetischen Uhren, erfolgt diese Schliessung erst, wenn die Schwingungen des Pendels bis zu einem gewissen Grade abgenommen haben.

Da man mit elektromagnetischen Uhren wohl nie den Grad von Genauigkeit erreichen wird, der mit gut construirten Gewichtsuhren auf weit einfachere Weise schon längst erzielt worden ist, so haben dieselben nur in einem Falle eine gewisse Bedeutung, wenn es sich nämlich darum handelt, eine Uhr herzustellen, welche längere Zeit, etwa ein ganzes Jahr hindurch fortgehn soll, ohne dass sie eines Aufziehens oder irgend eines Nachsehens bedarf. Da zum Betrieb elektromagnetischer Uhren ganz schwache Ströme genügen, so genügt eine Säule von zwei bis drei grossen, mit Kochsalz-Alaunlösung gefüllten Zinkkohlenbechern, wie sie auf S. 217 besprochen wurden, um eine solche Uhr ein Jahr lang in ungestörtem Gange zu erhalten.

144 **Das elektrische Chronoskop.** Wheatstone benutzte zuerst die grosse Geschwindigkeit der elektrischen Stromverbreitung, um sehr kleine Zeiträume zu bestimmen. Die nächste Absicht Wheatstone's war, die Zeit zu messen, welche Geschützkugeln zum Durchlaufen beliebiger Strecken ihrer Bahn brauchen. Seine Einrichtung zeigt die schematische Fig. 370. A ist die elektrische Batterie; einer ihrer Pole ist mit dem Elektromagnet B verbunden; ist der Strom geschlossen und

Fig. 370.



also der Anker des Magnets angezogen, so steht die Uhr C still; verliert aber der Magnet seine Kraft, so zieht eine Feder den Anker b ab und dadurch wird das Uhrwerk C ausgelöst und läuft so lange, bis der Strom wieder geschlossen wird. Dieses Oeffnen und Schliessen der Kette bewirkt die Kugel auf folgende Weise. Um die Mündung des Geschützes D ist ein Holzring gelegt, über welchen der Draht c gespannt ist, welcher einerseits zum Elektromagnet B, andererseits zum Elektromotor A führt; diese Verbindung wird durch die aus dem Rohr tretende Kugel zerrissen, die Kette geöffnet, und so die Uhr in Bewegung gesetzt. Ein zweiter Draht c' ist mit einem in beliebiger Entfernung aufgestellten

Ziele E verbunden, welches so eingerichtet ist, dass die geringste Bewegung, welche ihm mitgetheilt wird, eine kleine Metallfeder in dauernde Berührung mit einem Metallstücke bringt, welches durch den Draht a mit demselben Pole des Magnets verbunden ist wie der Draht c. Berührt nun die Kugel das Ziel, so wird dadurch die Kette abermals geschlossen, der Anker angezogen und das Uhrwerk gestellt. Der Zeiger giebt nun die von der Kugel verwendete Zeit an.

Das Chronoskop C muss natürlich so eingerichtet sein, dass es noch sehr kleine Unterabtheilungen einer Secunde angeben kann.

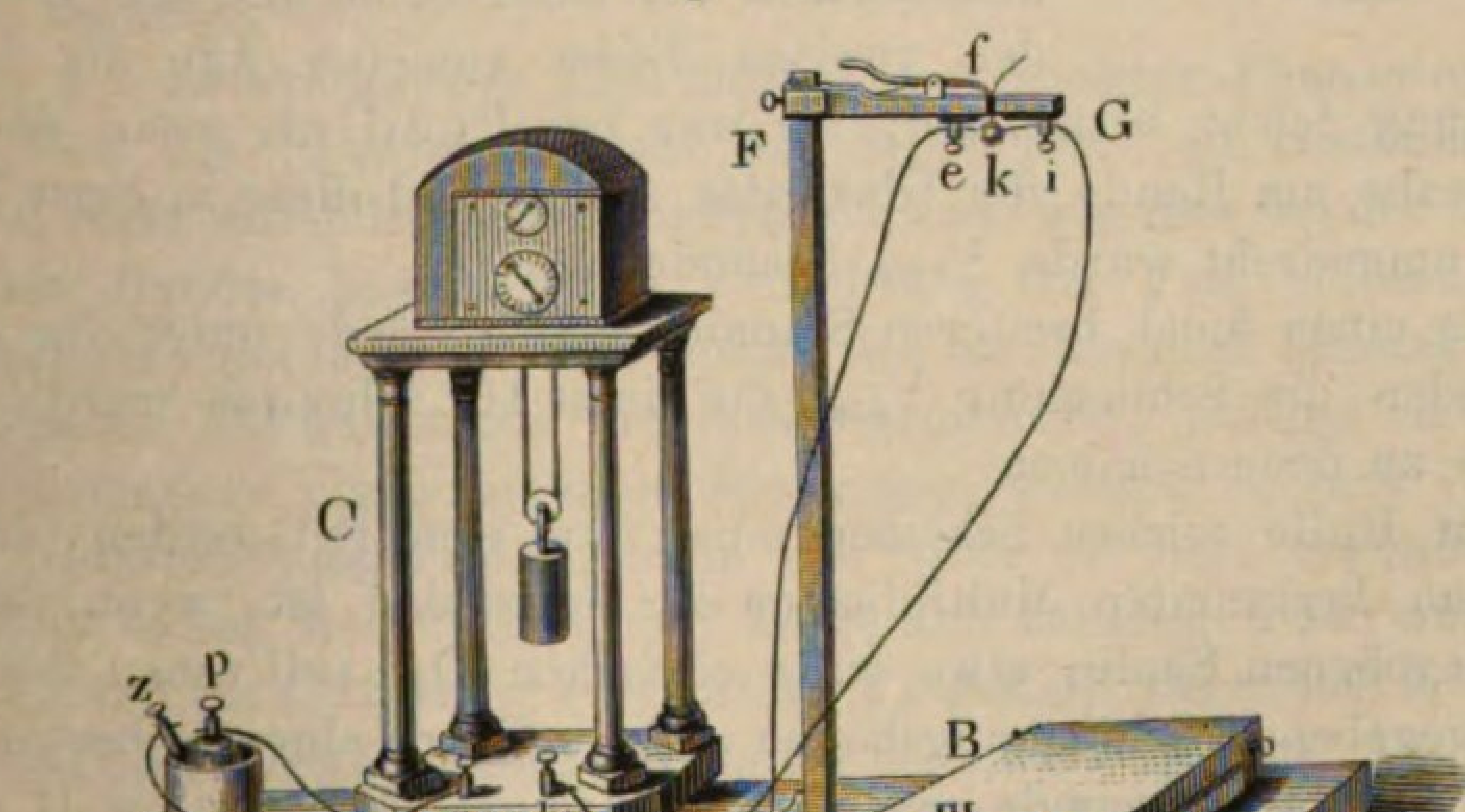
Wheatstone fand eine bedeutende Fehlerquelle darin, dass der Anker (der wie beim Morse'schen Telegraph ohnehin nicht ganz in Berührung mit den Polen des Elektromagnets kommen darf) nicht rasch genug vom Elektromagneten abfiel und ebenso nicht rasch genug angezogen wurde; aus diesem Grunde hält Wheatstone selbst seine Messungen nur bis auf $^1/_{60}$ Secunde genau.

In Wheatstone's Chronoskop erkannte Hipp als Hauptfehler den Umstand, dass das Uhrwerk erst beim Beginne der zu messenden kleinen Zeit in Gang gesetzt wird, wobei nothwendig eine grössere, jedoch für alle Versuche etwa gleiche Zeit verstreicht, bis das Werk in gleichförmigen Gang gekommen ist, eine Zeit, die in manchen Fällen selbst grösser sein wird, als die zu messende.

Hipp änderte nun den Apparat dahin ab, dass er den Elektromagnet nicht dazu verwandte, das Uhrwerk auszulösen und zu stellen, sondern nur dazu, die Verbindung des Zeigers mit dem schon im Gang befindlichen Uhrwerk herzustellen und zu unterbrechen.

Fig. 371 zeigt ein solches Chronoskop in seiner Zusammenstellung

Fig. 371.



mit der Stromquelle und einem Fallapparate. Der Strom geht von e durch die Kugel k nach i; die Kugel ist von einem Faden getragen, welcher

durch einen Druck auf *f* ausgelöst wird. Sobald die Kugel zu fallen beginnt, wird der Strom zwischen *e* und *i* unterbrochen; er wird wieder geschlossen, sobald die Kugel auf das Brettchen *B* aufschlagend eine metallische Verbindung zwischen *m* und *n* herstellt. *F* ist ein getheilter Stab, an welchem die Fallhöhe abgelesen wird.

Pouillet sucht die Messung kleiner Zeittheilchen auf einem anderen Wege zu bewerkstelligen. Er geht nämlich von der Ansicht aus, dass die Grösse des durch einen vorübergehenden Strom bewirkten Ausschlages der Multiplicatornadel von der Stärke des Stromes und von der Zeit abhänge, während welcher derselbe auf die Nadel wirkt, wenn diese letztere überhaupt nur kurz ist. Man kann also aus dem unter verschiedenen Umständen erfolgenden Ausschlage auf die Zeit schliessen, wenn immer der gleich starke Strom angewendet wird und das Verhältniss zwischen Zeit und Ausschlag bekannt ist. Pouillet hat das letztere nicht theoretisch entwickelt, sondern durch Versuche auf folgende Weise eine Tabelle construirt.

Auf eine runde Glasplatte *A*, Fig. 372, von 84 Centimeter Durchmesser, welche um ihre Axe gedreht werden konnte, wurde rund um die Axe herum ein ziemlich breiter kreisförmiger Stanniolstreifen *a*, von diesem aus aber ein gerader Streifen *b* als Halbmesser geklebt, der nur ein Millimeter Breite hatte. Von den beiden Drahtenden der Kette ruhte das eine federnd auf dem Stanniolring *a*, das andere auf der Platte; wird letztere gedreht, so schliesst sich die Kette so oft und so lange, als sich der Stanniolstreifen *b* unter der Feder befindet. Man kann nun aus der Umdrehungszeit der Glasscheibe und der Entfernung der zweiten Feder von der Axe die Zeit der Schliessung leicht bestimmen; sie war bei Pouillet, wenn die zweite Feder nahe am Rande der Glasplatte auflag und diese in einer Secunde einmal umgedreht wurde, $^1/_{2250}$ Secunde.

Fig. 372.



Für einen 5mal breiteren Stanniolstreifen würde unter den gleichen Umständen die Schliessung $^1/_{450}$, für einen 10^{mm} breiten würde sie $^1/_{225}$ Secunde zu dauern haben.

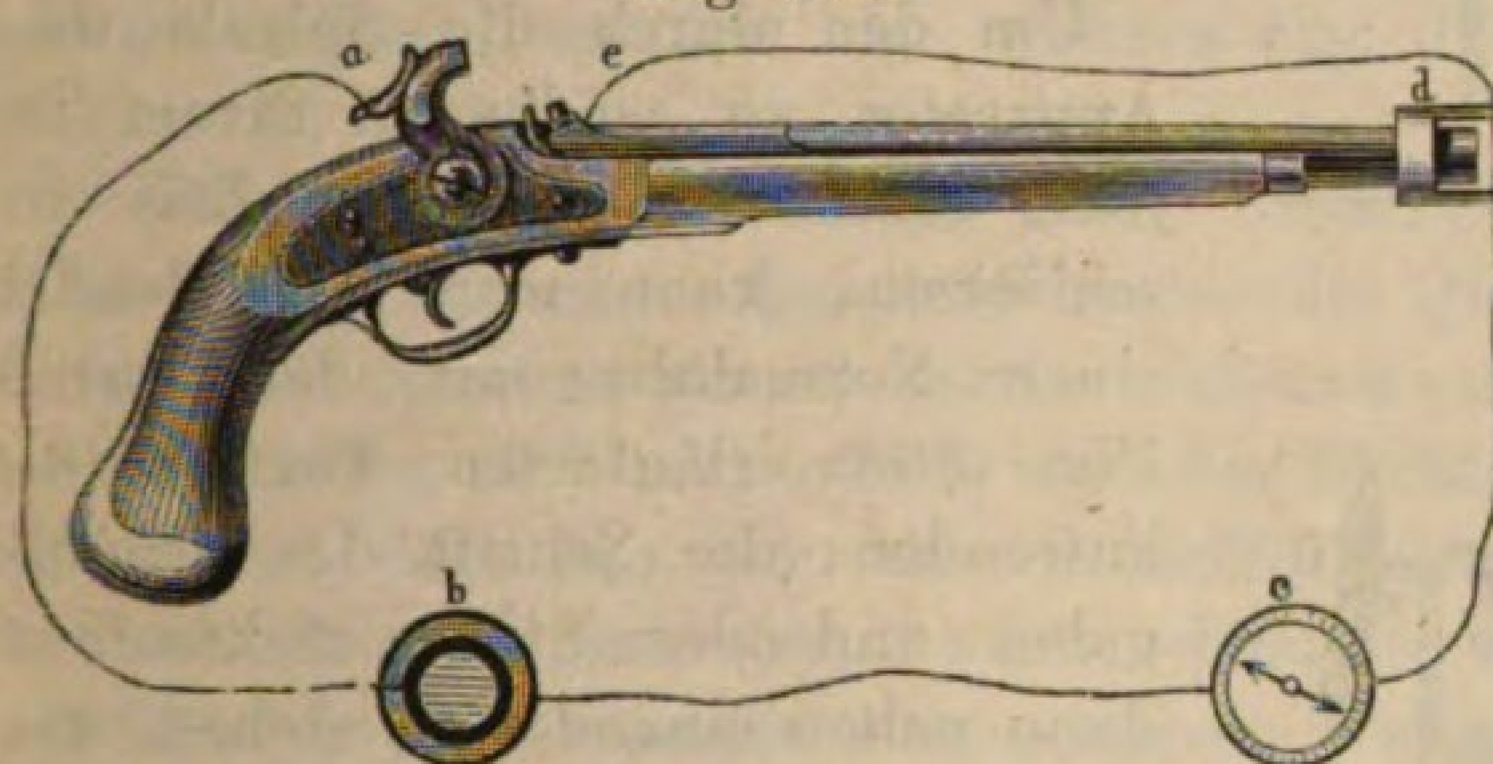
Mit Hülfe solcher Scheiben muss nun ermittelt werden, wie gross an einem bestimmten Multiplicator der Ausschlag ist, wenn der Strom einer gegebenen Säule, etwa eines einfachen Daniell'schen Bechers bei einem gegebenen Schliessungsbogen auf die Dauer eines zu bestimmenden Bruchtheils einer Secunde geschlossen wird. Nehmen wir z. B. an, eine Schliessung von $^1/_{300}$ Secunde habe einen Ausschlag von 5, eine Schliessung von $^1/_{100}$ Secunde habe einen Ausschlag von 15 Secunden gegeben, so kann man annehmen, dass bis zu 15^0 der Ausschlag der Schliessungsdauer umgekehrt proportional ist.

Nach solchen vorbereitenden Versuchen wird man die Dauer einer

auf andere Weise hervorgebrachten Schliessung berechnen können, welche von demselben Multiplicator bei gleicher Säule und gleichem Schliessungsbogen irgend eine Ablenkung zwichen 0° und 15° hervorbringt.

Pouillet hat nach diesem Princip Versuche über die Geschwindigkeit der Pulverentzündung gemacht, wobei er folgende Vorrichtung benutzte. Das Schloss eines Gewehres wurde vom Laufe isolirt, und der Hahn *a*, Fig. 373, mit dem einen Pole einer Volta'schen Batterie *b* verbunden. Von dem anderen Pole führte ein Draht zum Multiplicator *c* und von diesem über einen Holzring *d* vor der Mündung des Gewehres weg an das Zündhütchen *e*. Die Kette war also geschlossen von dem Augenblicke an, wo der Hahn aufschlug, bis zu jenem, wo die Kugel den Lauf verliess.

Fig. 373.



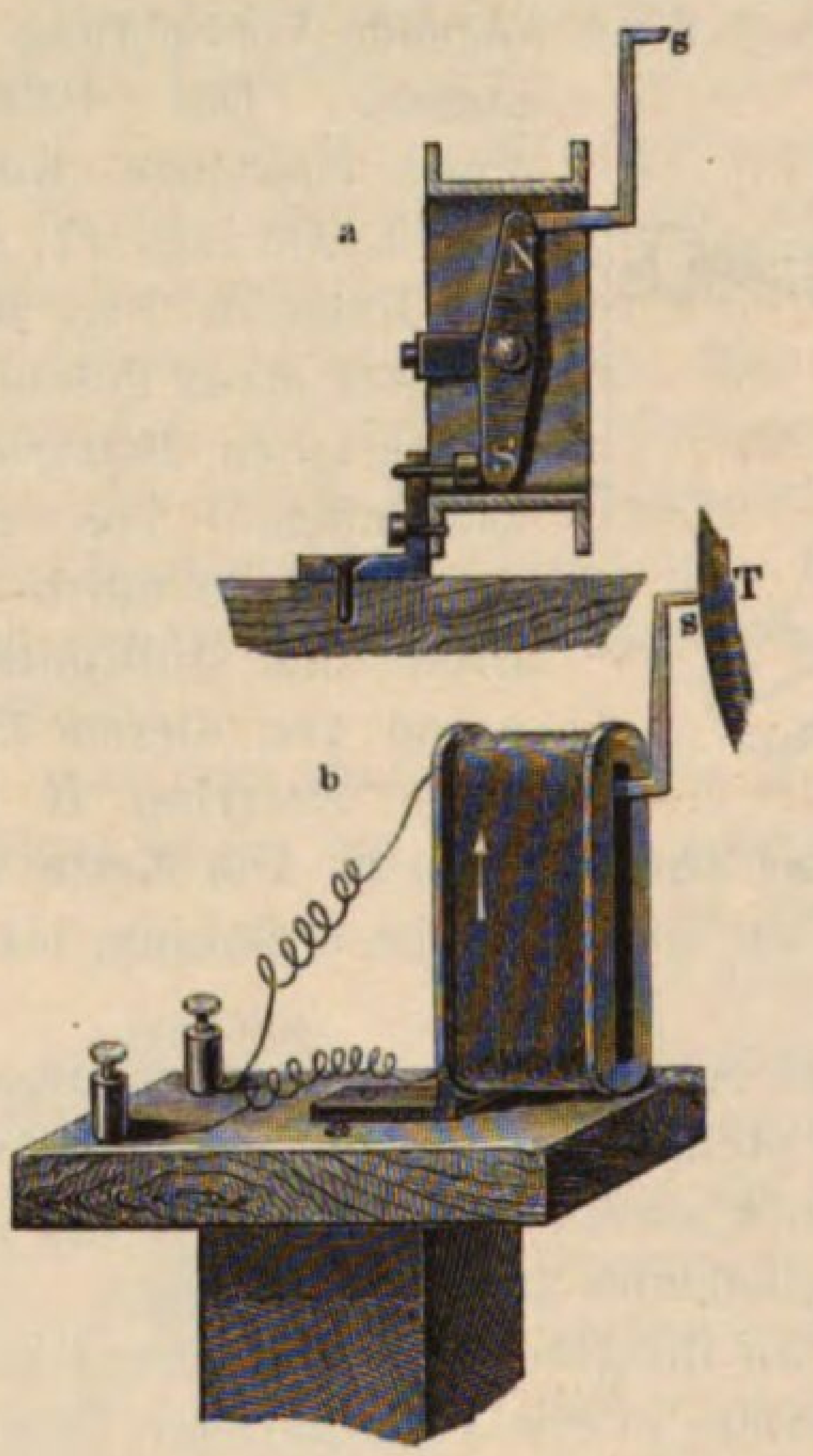
Nehmen wir z. B. an, er habe bei Anwendung obiger Instrumente gefunden, dass das Losschiessen der Pistole eine Ablenkung von 10° bewirkt, so würde man daraus schliessen können, dass die Kugel $^1/_{15}$° Secunde braucht, um die Länge des Pistolenlaufes zu durchlaufen.

Vor einigen Jahren kam v. Babo auf die glückliche Idee, den Phonautographen von König, den wir bereits in etwas veränderter Form in §. 180 des ersten Bandes kennen lernten, zur Messung kleiner Zeitintervalle zu benutzen.

Bei der ursprünglichen Einrichtung des besagten Phonautographen wurden, um die Schwingungszahl der Stimmgabel zu bestimmen, die Secunden nicht durch Inductionsfunken markirt, wie dies bei der in §. 180 des ersten Bandes beschriebenen Vorrichtung der Fall ist, sondern es schleifte neben der schreibenden Spitze der oscillirenden Stimmgabel auf der berussten Cylinderfläche ein Messingspitzchen, welches neben den Stimmgabelcurven einen geraden Strich zog, welcher in jeder Secunde einmal Unterbrechung erfuhr, wenn die Spitze in jeder Secunde durch einen elektrischen Strom einmal auf kurze Zeit zurückgezogen wurde. In Fig. 374 *a* und *b* a. f. S., ist die Vorrichtung dargestellt, deren sich König bediente, um dieses Zurückziehen der Spitze zu bewerkstelligen. Die Spitze *s*, welche an der berussten Oberfläche der Walze *T* leicht anliegt, ist das eine Ende eines rechtwinklig gebogenen messingenen Stäbchens, dessen anderes Ende in dem oberen Pole des Stahlmagnets *NS* befestigt ist. Dieser Magnet ist um einen horizontalen Zapfen drehbar, welcher in der Mitte einer mit übersponnenem Kupferdraht umwickelten Hülse von Messingblech angebracht ist. Sobald ein Strom in der durch den Pfeil Fig. 374 *b* a. f. S. bezeichneten Richtung die Drahtwindungen durch-

läuft, wird der Nordpol *N* des Magnets nach der Linken, die Spitze *s* also von der Walze zurückgezogen, wenn aber der Strom unterbrochen wird, so fällt die Spitze *s* durch das Gewicht des Messinghebels wieder auf die rotirende Trommel zurück.

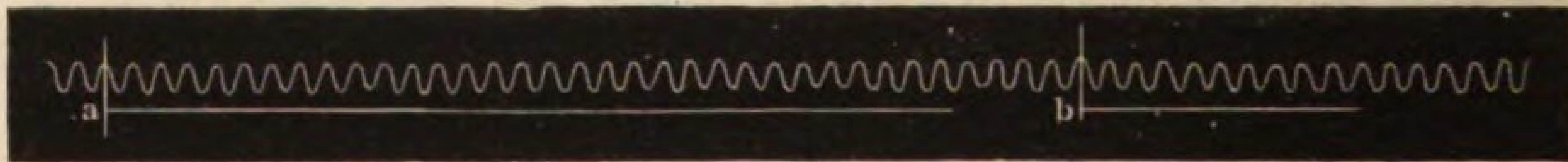
Fig. 374.



Um den durch die Spirale des Apparates zu sendenden Strom in jeder Secunde auf kurze Zeit zu schliessen, kann man das Pendel einer Normaluhr mit der durch Fig. 368 erläuterten Vorrichtung anwenden; die Schrift der Stimmgabel und des Stiftes *s* kommen dann neben einander zu stehen, wie es Fig. 375 darstellt, und man kann nun leicht zählen, wie viel Schwingungen der Gabel auf die Entfernung von Anfang eines Secundenstriches bis zum Anfang des folgenden kommen.

Nach meinen Erfahrungen arbeitet dieser Apparat nicht besonders zuverlässig. Zunächst bedarf es schon eines ziemlich starken Stromes (ich hatte eine Säule von vier Bunsen'schen Bechern nöthig), um den Magnet zurückzuziehen; dann aber ist die Kraft, mit welcher die Spitze *s* gegen die Walze *f* gedrückt wird, zu schwach, um sicher zu markiren.

Fig. 375.



Ich habe es weit vortheilhafter gefunden, das Andrücken der Spitze *s* gegen die Walze durch eine schwache Spiralfeder, das Zurückziehen aber durch einen Elektromagnet zu bewerkstelligen.

Aber auch diese Vorrichtung wurde unnöthig, nachdem v. Babo den Vorschlag gemacht hatte, die Secunden nicht durch einen besonderen Stift, sondern durch einen Inductionsfunken markiren zu lassen, der zu Anfang jeder Secunde von der Schreibspitze der Gabel zur metallenen Walze überspringt, eine Markirungsmethode, welche wir erst im sechsten Capitel näher betrachten können.

Richtung der Ströme durch Magnete. Da der Strom eine richtende Wirkung auf Magnete hervorbringt, so konnte man nicht zweifeln, dass auch umgekehrt die Magnete eine gleiche Wirkung auf bewegliche Ströme ausüben müssen. Um die Richtigkeit dieses Schlusses nachzuweisen, musste man nur dafür sorgen, durchströmte Leiter von hinlänglicher Beweglichkeit herzustellen, was Ampère durch das nach ihm genannte Gestell erreicht hat, welches Fig. 376 in seiner einfachsten Gestalt zeigt. 145

Zwei verticale auf einem Brett befestigte Säulen von Messing sind oben horizontal umgebogen und tragen die Quecksilbernäpfchen x und y, deren Mittelpunkte genau vertical untereinander stehen müssen. Die beiden Säulen sind nirgends in leitender Berührung. Unten sind sie etwas dicker, so dass man hier die Poldrähte einer Säule von 3 bis 5 Zinkkohlenbechern einschrauben kann; dadurch wird das eine Quecksilbernäpfchen gewissermaassen zum positiven, das andere zum negativen Pole.

In diese Quecksilbernäpfchen werden nun Leitungsdrähte eingehängt, wie sie Fig. 376 und Fig. 377 dargestellt sind. Da, wo sich die beiden

Fig. 376.

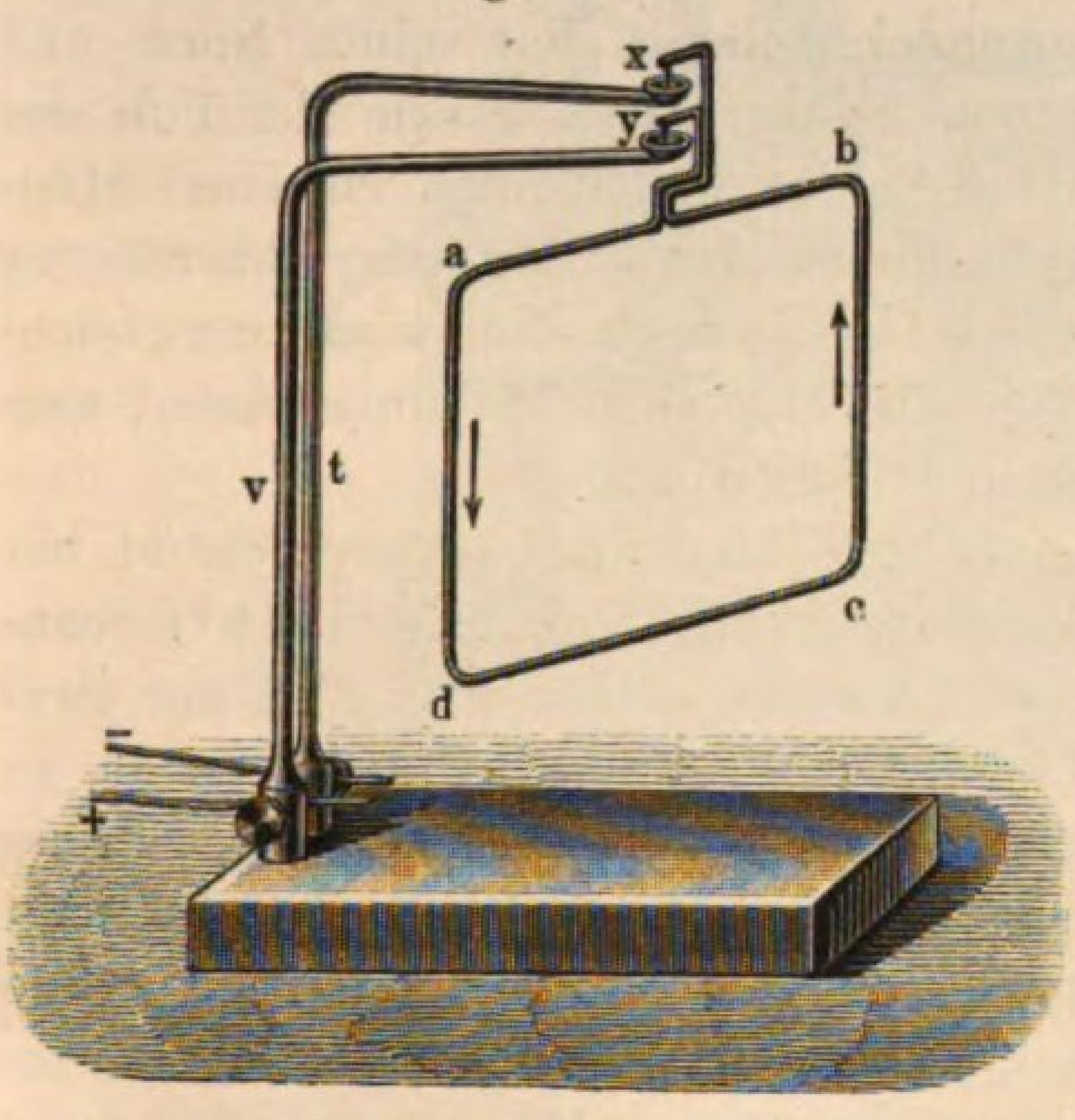


Fig. 377.

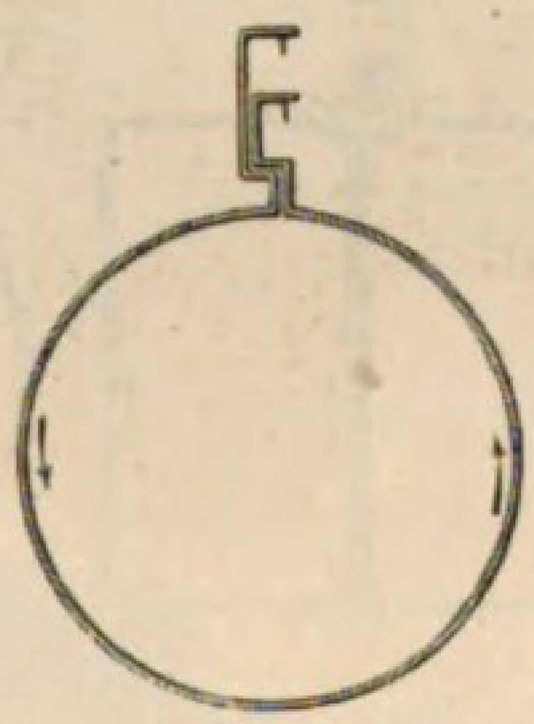
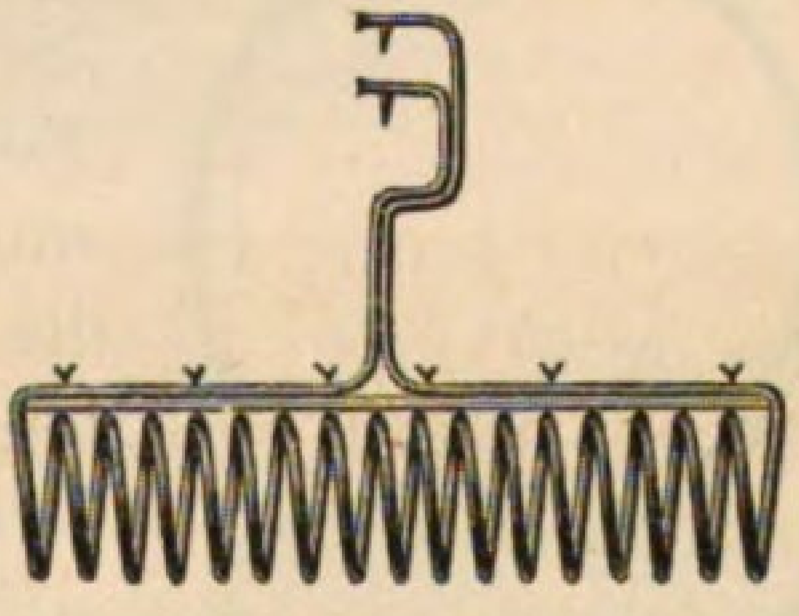


Fig. 378.



Drahtenden zu berühren scheinen, sind sie durch eine isolirende Substanz getrennt; sie sind oben umgebogen und mit Stahlspitzen versehen, die in die Näpfchen x und y, Fig. 376, eingetaucht werden. Die obere Spitze geht bis auf den Boden des Näpfchens und ruht hier auf einer kleinen Stahlpfanne, die untere Spitze taucht nur in das Quecksilber ein. Durch diese Aufhängung ist der Draht sehr leicht beweglich.

Nähert man dem so aufgehängten durchströmten Leiter einen Magnetstab, so wird er (der bewegliche Leiter), kräftig angezogen oder abgestossen, eine entsprechende Drehung um seine verticale Umdrehungsaxe erleiden.

Schon der Erdmagnetismus wirkt richtend auf den beweglichen durchströmten Leiter; wenn man ihn sich selbst überlässt, so stellt er sich so, dass seine Ebene rechtwinklig auf der Ebene des magnetischen Meridians steht, und zwar stets so, dass der positive Strom auf der Westseite aufsteigt oder, mit anderen Worten, dass der Strom von der Südseite her betrachtet in gleicher Weise kreist wie der Zeiger einer Uhr.

Da ein durchströmter kreisförmiger Leitungsdraht, Fig. 377, welcher um seine verticale Axe drehbar ist, sich rechtwinklig auf den magnetischen Meridian einstellt, so muss sich auch ein Schraubendraht (Solenoid), Fig. 378 a. v. S., an dem Ampère'schen Gestell aufgehängt und durchströmt so einstellen, dass die Ebene der einzelnen Windungen gleichfalls rechtwinklig steht auf der Ebene des magnetischen Meridians, dass also die Axe des Solenoids in den magnetischen Meridian zu liegen kommt.

Es versteht sich von selbst, dass das Stäbchen, an welchem die einzelnen Windungen des Solenoids, Fig. 378, oben befestigt sind, aus einer isolirenden Substanz, also etwa aus Holz besteht.

Fig. 379.

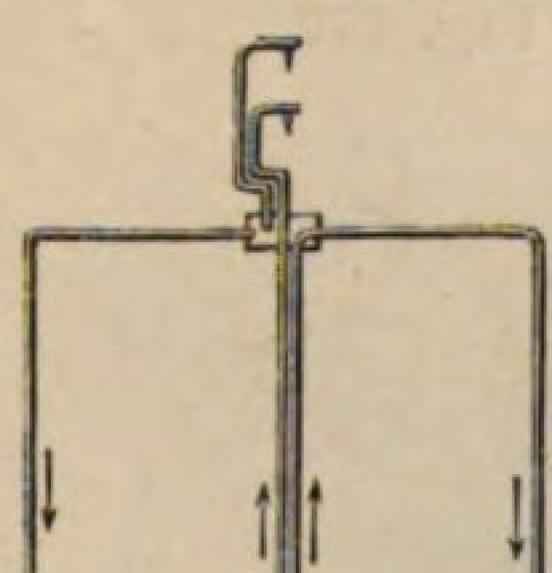


Fig. 380.



Ein solches Solenoid ahmt vollkommen die Declinationsnadel nach, es hat seinen Nord- und seinen Südpol. Nähert man einem der Pole des durchströmten Solenoids den einen Pol eines Magnetstabes, so findet Anziehung oder Abstossung statt. Ein jeder Pol des Solenoids wird vom gleichnamigen Pole des Magnetstabes abgestossen, vom ungleichnamigen angezogen.

Den astatischen Nadeln entsprechend hat man auch astatische Leitungsdrähte construirt, welche wie der Leiter, Fig. 379, aus zwei Theilen bestehen, die der Erdmagnetismus in entgegengesetzter Weise zu richten strebt, so dass das ganze System nun kein Bestreben mehr zeigt unter dem Einfluss des Erdmagnetismus eine bestimmte Stellung einzunehmen.

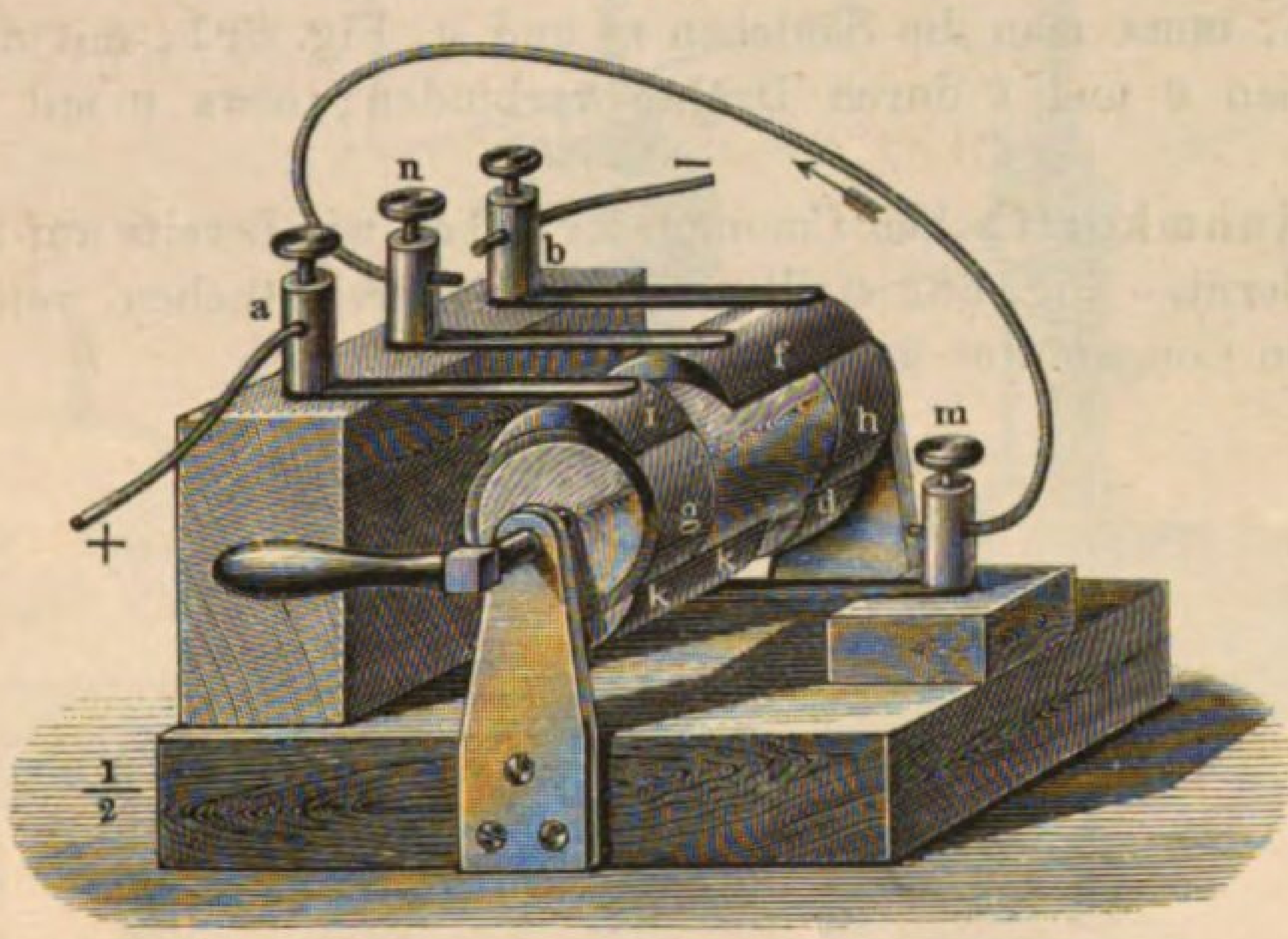
Die Einwirkung von Magneten auf bewegliche Ströme lässt sich auch mit de la Rive's schwimmendem Strom zeigen. In einem Stücke Kork, Fig. 380, ist ein Stück Zink Z und ein Stück Kupfer K befestigt, und beide Platten sind durch mehrere kreisförmige Windungen von übersponnenem Kupferdraht verbunden. Auf gesäuertes Wasser gesetzt, bildet sich ein Strom, der vom Zink im Wasser zum Kupfer und dann durch den Draht in der durch den Pfeil angedeuteten Richtung hindurchgeht. Die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus solche schwimmenden Ströme rich-

tet, ist freilich äusserst gering, dagegen tritt die Anziehung und Abstossung derselben durch Magnete ganz entschieden auf.

Hat sich der Leiter Fig. 376 oder Fig. 377, oder das Solenoid Fig. 378 bei einer bestimmten Stromesrichtung unter dem Einfluss des Erdmagnetismus eingestellt, so wird eine Umkehrung der Stromesrichtung eine Umkehrung der Polarität der durchströmten Leiter zur Folge haben, er wird sich also um seine verticale Drehungsaxe um 180° drehen müssen, ehe er in seine neue durch den Erdmagnetismus bestimmte Gleichgewichtslage gelangt.

Um den Strom leicht, rasch und sicher umkehren zu können, wendet man Apparate an, welche den Namen Stromwender, Gyrotrop oder Commutator führen. Bei den älteren derartigen Apparaten war immer Quecksilber in Anwendung gebracht worden, welches man in neuerer Zeit, der mannigfachen Uebelstände wegen, die es mit sich bringt, möglichst zu vermeiden sucht. Fig. 381 stellt einen Stromwender dar, bei dessen

Fig. 381.



Construction kein Quecksilber in Anwendung kommt. Eine Walze von Holz ist um eine horizontale Axe mittelst eines kleinen Hebels drehbar. Auf ihrer vorderen Seite trägt sie einen Metallring *g*, auf der hinteren einen solchen *h*. Auf jedem dieser Ringe sind diametral gegenüberstehend zwei Metallwülste aufgelöthet, von denen der eine nicht länger ist als der Ring selbst, während der andere über denselben hinausragt, und zwar bis über die Mitte der Walze reichend. So sitzen auf dem Ringe *g* die Wülste *i* und *k*, auf *h* sitzen *d* und *f*. Bei der Stellung, welche die Figur zeigt, sind die Wülste *i* und *f* gerade nach oben, *d* und *k* nach unten gekehrt, und drücken deshalb fest gegen die mit den Messingsäulchen *a*, *n*, *b* und *m* in Verbindung stehenden Metallfedern an. Ist nun *a* mit dem positiven und *b* mit dem negativen Pole der Säule in Verbindung, sind ferner in *m* und *n* die Enden der Drahtleitung eingeschraubt,

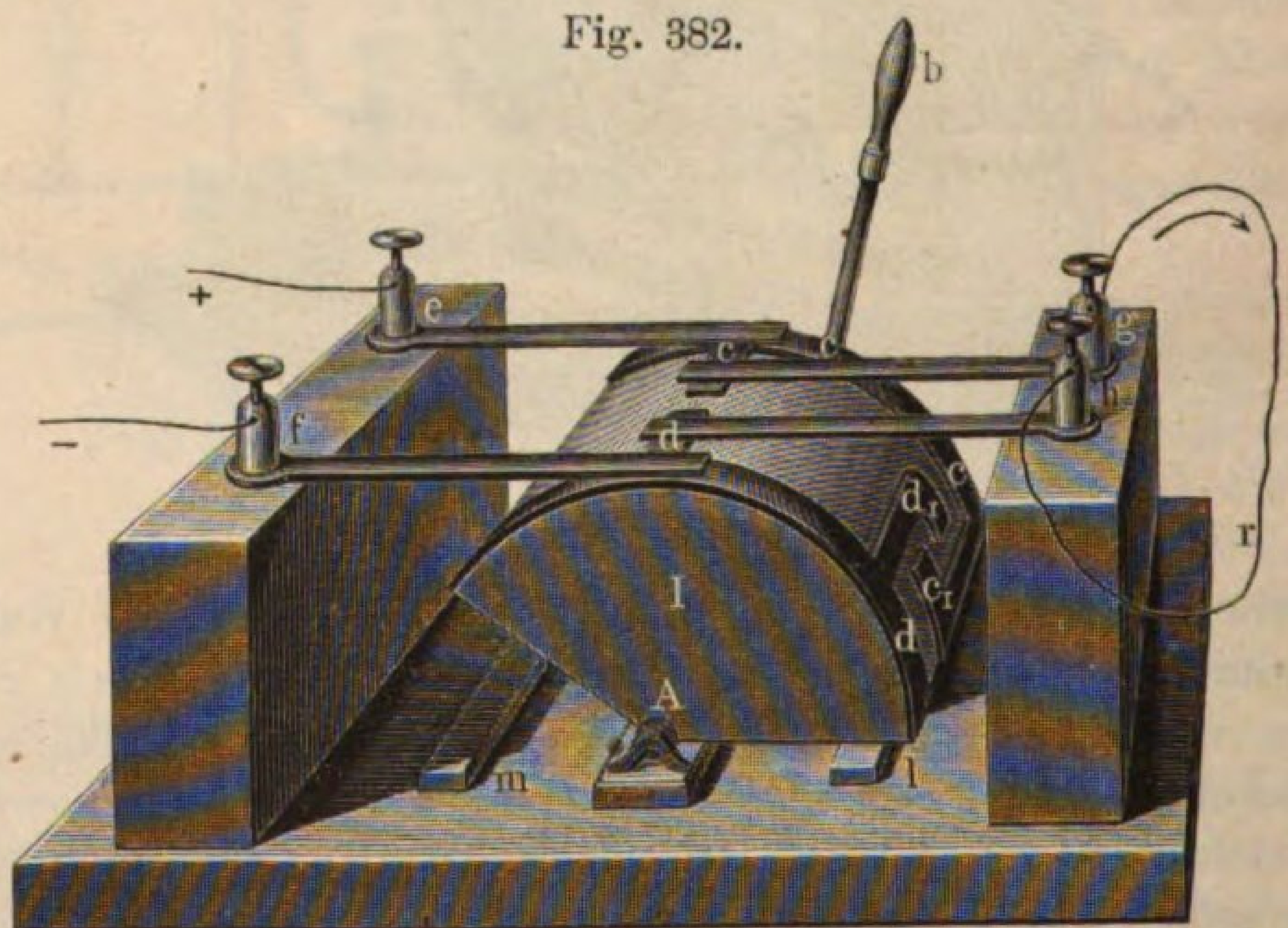
durch welche man einen Strom hindurchsenden will, so geht der positive Strom von *a* durch die zu diesem Säulchen gehörige Feder über *i*, *g* und *k* zur Feder des Säulchens *m*, von *m* durch den Schliessungsdraht nach *n*, durch die Feder von *n* auf den Wulst *f*, und von *f* durch die Feder des Säulchens *b* nach diesem selbst und nach dem negativen Pole des Rheomotors.

Dreht man den Hebel um eine Viertelumdrehung, so dass er vertical nach oben zu stehen kommt, so ist der Strom ganz unterbrochen, weil die Federn von *a*, *b*, *m* und *n* nicht mehr auf Metall aufliegen; legt man aber den Hebelarm ganz um, so dass er nach der rechten Seite steht, so wird der Schliessungsbogen in einer der eben besprochenen entgegengesetzten Richtung durchströmt, wovon man sich leicht durch aufmerksames Beschauen der Fig. 381 überzeugen kann; denn nun liegen die Federn von *a* und *n* auf *k* auf, die Feder von *b* schleift auf *d*, die von *m* auf *f*.

Um den Apparat Fig. 376 mit diesem Stromwender in Verbindung zu bringen, muss man die Säulchen *m* und *n*, Fig. 381, mit dem Fusse der Stäbchen *v* und *t* durch Drähte verbinden; etwa *v* mit *m* und *t* mit *n*.

Den Ruhmkorff'schen Commutator haben wir bereits auf Seite 367 kennen gelernt. Fig. 382 stellt einen sehr übersichtlichen, von Reusch construirten Commutator dar.

Fig. 382.



Das Ampère'sche Gestell, welches wir oben in seiner einfachsten Gestalt kennen lernten, ist in mannigfacher Weise abgeändert worden. Fig. 383 ist eine perspectivische Ansicht des Apparates, wie ihn Stöhrer in Dresden construirt, Fig. 384 ist der Grundriss desselben.

Der bewegliche Leiter ist mittelst eines Stahlhütchens *h* auf eine Stahlspitze aufgesetzt, um die er sich frei drehen kann. Unten endet der

Fig. 383.

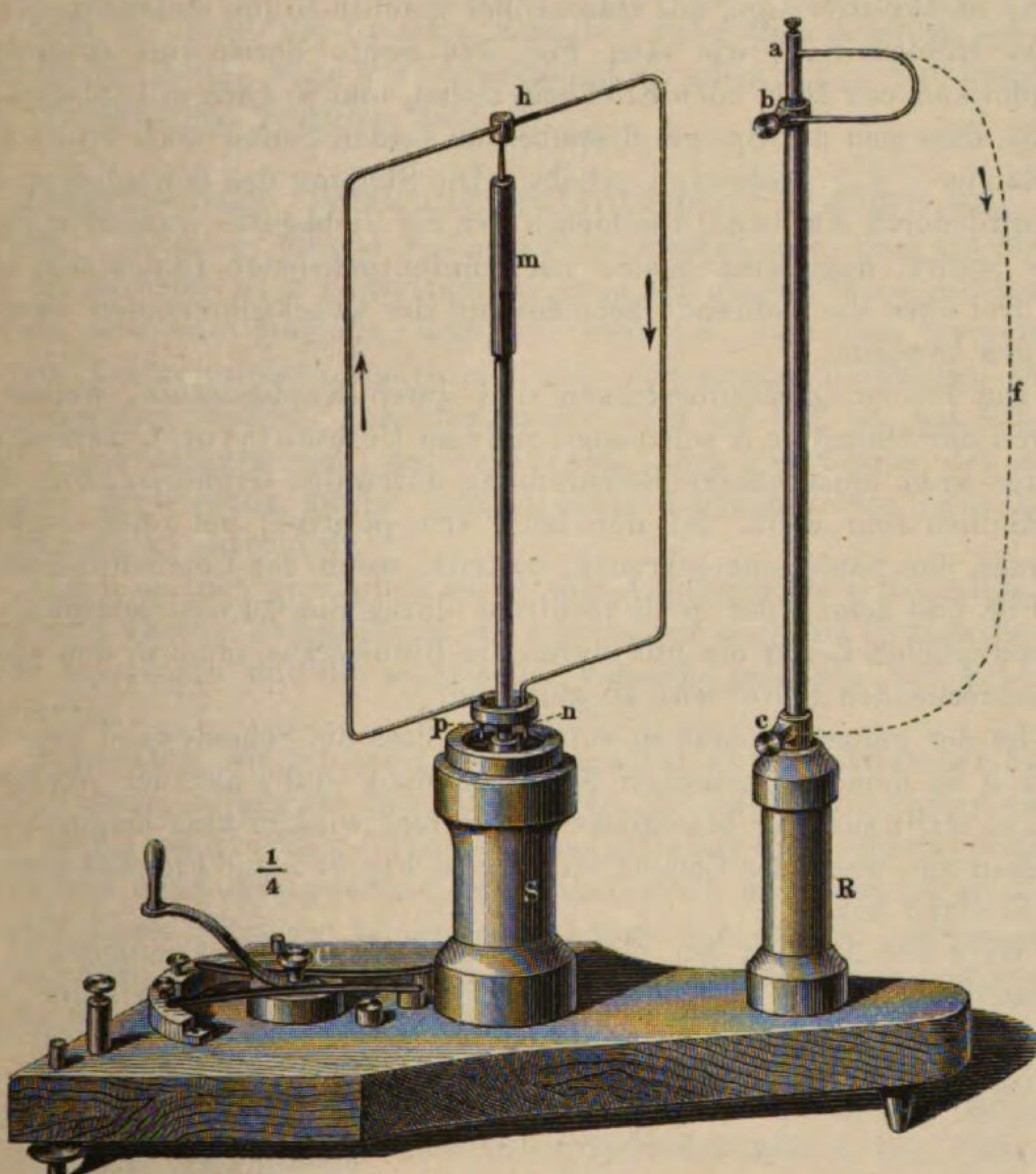
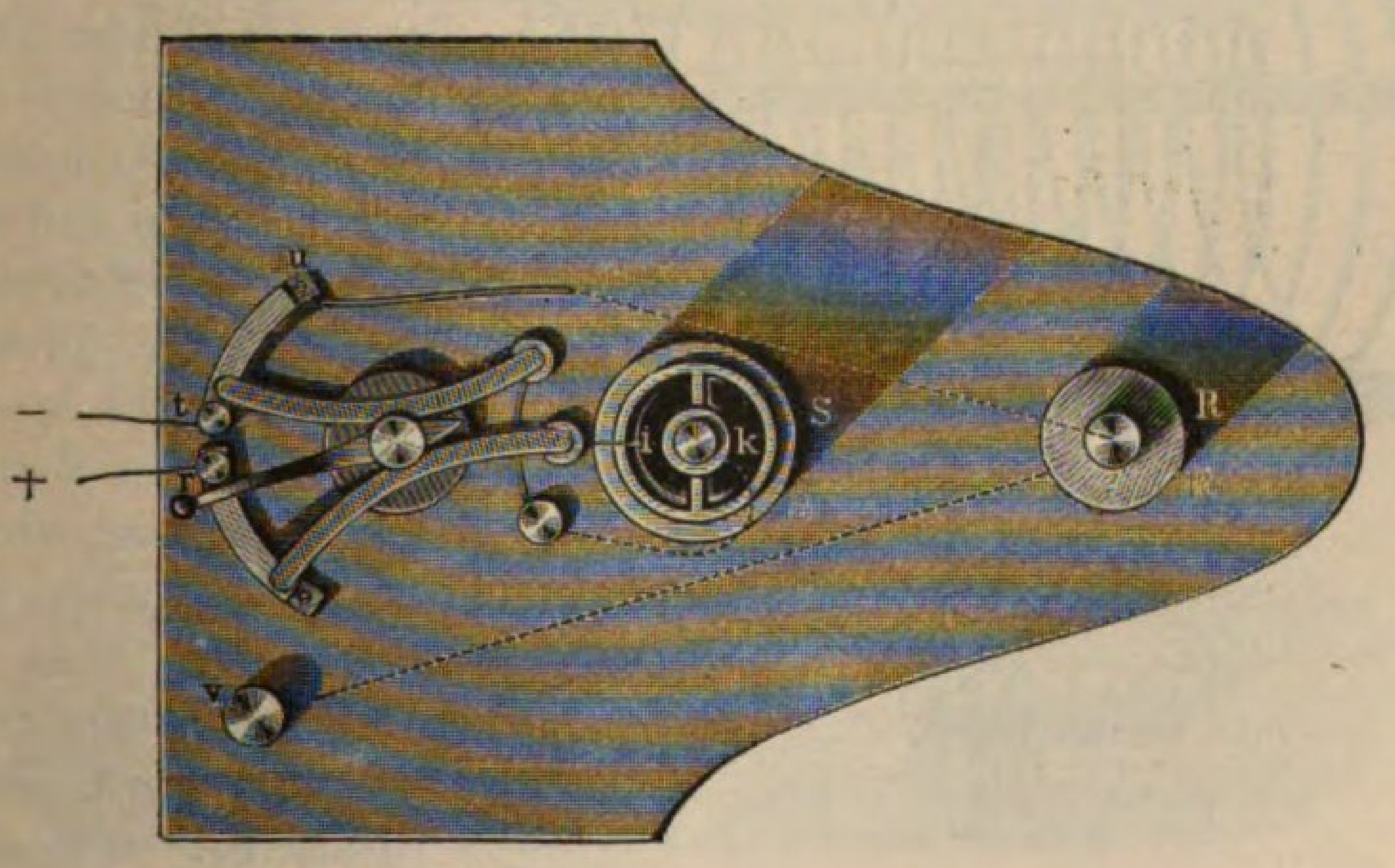


Fig. 384.



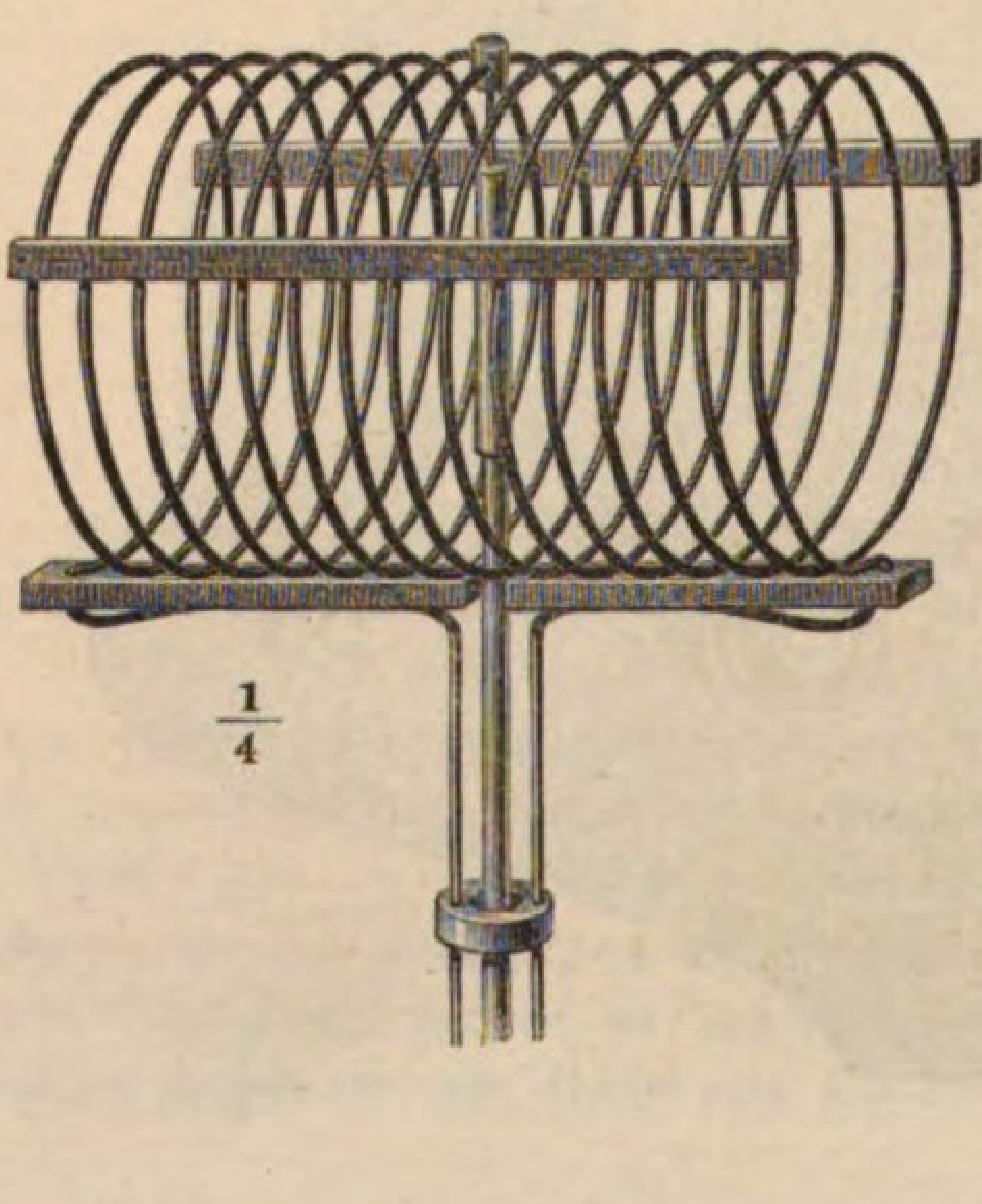
bewegliche Leiter in zwei zugespitzten Drahtstücken *n* und *p*, deren jedes in eine halbkreisförmige, mit Quecksilber gefüllte Rinne eintaucht. Diese beiden Rinnen sind, wie man Fig. 384 sieht, durch eine diametrale Scheidewand von Holz oder Elfenbein isolirt, und so hoch mit Quecksilber gefüllt, dass sich der Spiegel desselben zu beiden Seiten noch etwas über die Ränder der Scheidewand erhebt. Die Stellung des beweglichen Leiters wird durch Auf- und Abschieben der die Stahlspitze tragenden Hülse *m* so justirt, dass seine beiden nach unten gekehrten Enden sich eben noch frei über die isolirende Scheidewand der Quecksilberrinnen hinwegbewegen können.

Die beiden Quecksilberrinnen sind durch Kupferdrähte, welche im Inneren der Holzsäule *S* aufsteigen, mit dem Commutator *C* verbunden, welcher wohl ohne nähere Beschreibung durch den Grundriss, Fig. 384, verständlich sein wird. Ist nun bei *r* der positive, bei *t* der negative Poldraht der Säule eingeschraubt, so tritt, wenn der Commutator steht, wie Fig. 384 zeigt, der positive Strom durch die Quecksilberrinne *i* in den beweglichen Leiter ein und durch die Rinne *k* aus, ohne in den später zu besprechenden Leiter *abc* zu gelangen.

Ist der ganze Apparat so aufgestellt, dass die Scheidewand zwischen *i* und *k* in dem magnetischen Meridian steht und *i* auf der Westseite liegt, so stellt sich der bewegliche Leiter rechtwinklig zum magnetischen Meridian ein, wenn der Commutator die in Fig. 383 und Fig. 384 gezeichnete Stellung hat.

Wird der Apparat bei der gleichen Stellung des Commutators so aufgestellt, dass die Scheidewand zwischen *i* und *k* rechtwinklig zum magnetischen Meridian steht, so wird der bewegliche Leiter unter dem Einfluss des Erdmagnetismus beständig um seine verticale Axe rotiren, denn so oft er, um seine verticale Axe sich drehend, in der Gleichgewichtslage ankommt, welche der bis dahin im Leiter stattfindenden Stromesrichtung entspricht, gehen die Drahtenden *p* und *n* über die isolirende Scheidewand hinweg; das Drahtende, welches bisher in *i* war, taucht nun in *k* ein und umgekehrt, es wird also in dem Moment, in welchem der Draht seine Gleichgewichtslage passirt, die Stromesrichtung in demselben umgekehrt

Fig. 385.



und dadurch eine Fortsetzung der Drehung in gleicher Richtung bedingt.

Vertauscht man den beweglichen Leiter, Fig. 383, mit dem Solenoid Fig. 385, so findet die Rotation desselben unter dem Einfluss des Erdmagnetismus statt, wenn die Scheidewand zwischen *i* und *k* rechtwinklig zum magnetischen Meridian steht.

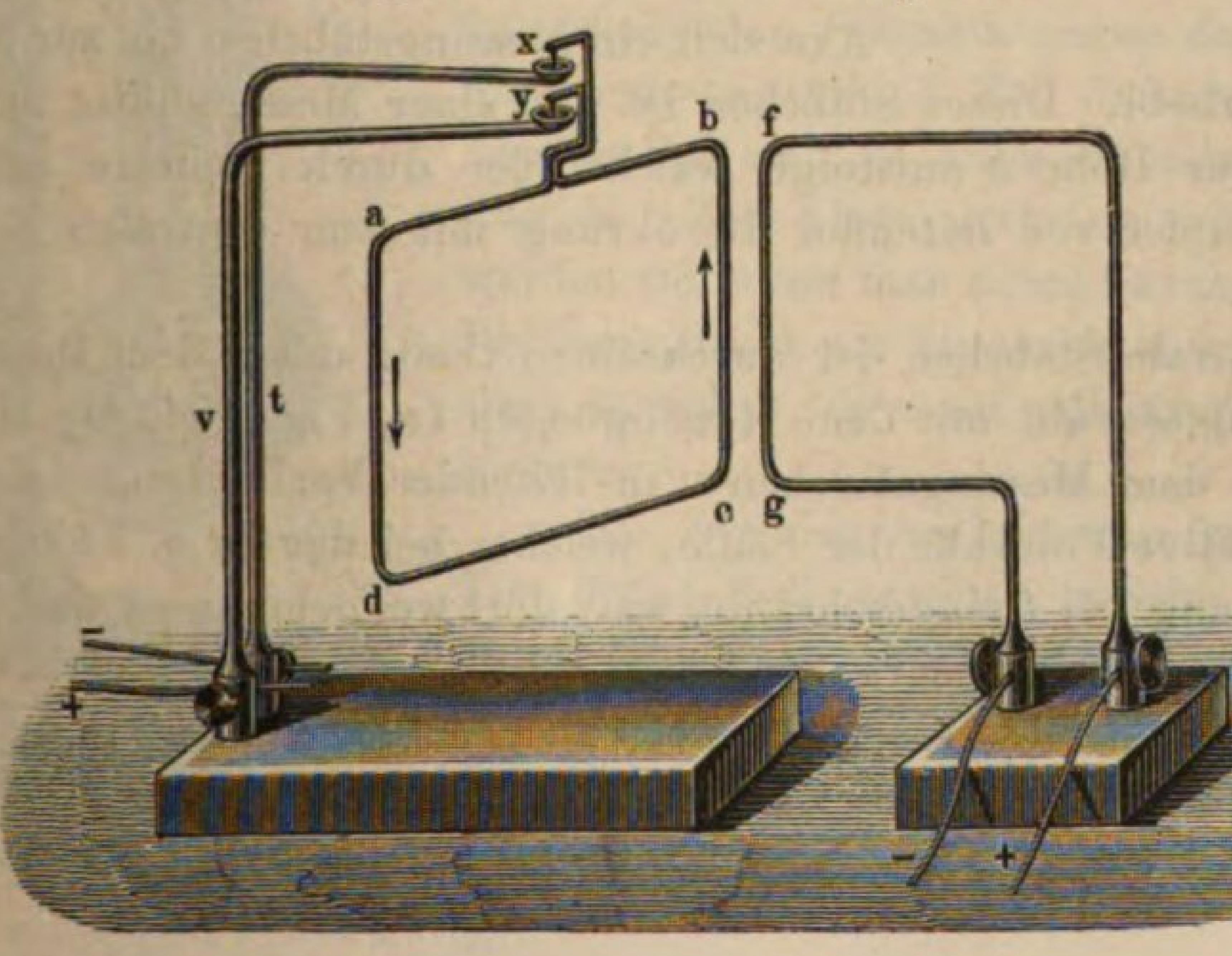
Gegenseitige Wirkung galvanischer Ströme auf einander. 146 Nachdem einmal nachgewiesen worden war, dass ein Magnet und ein durchströmter Leitungsdraht ganz auf gleiche Weise aufeinander wirken, wie zwei Magnete, liess sich erwarten, dass auch zwei durchströmte Leitungsdrähte anziehende oder abstossende Wirkungen aufeinander ausüben werden. Dass dies in der That der Fall ist, hat Ampère nicht allein nachgewiesen, sondern er hat auch die Gesetze der gegenseitigen Einwirkung zweier durchströmter Leitungsdrähte (die Elektrodynamik) entwickelt.

Wenn es auch unmöglich ist, in dies Lehrbuch die vollständige Ampère'sche Theorie aufzunehmen, so werden wir doch die Grundsätze derselben besprechen und die wichtigsten Versuche anführen, auf welche sie sich stützt.

Betrachten wir zunächst zwei parallel neben einander herlaufende Ströme, so ergiebt sich, dass sich dieselben einander anziehen, wenn sie gleich gerichtet, dass sie aber einander abstossen, wenn sie entgegengesetzt gerichtet sind, und zwar hängt die Intensität dieser Wirkung ab von der Länge der parallel nebeneinander herlaufenden Leitungsdrähte, von der Entfernung derselben und von der Stärke der sie durchlaufenden Ströme.

Die eben besprochene gegenseitige Einwirkung paralleler Ströme lässt sich mit Hülfe des Ampère'schen Gestelles in folgender Art nachweisen. Man hänge in die Quecksilbernäpfchen *x* und *y*, Fig. 386, einen

Fig. 386. Fig. 387.

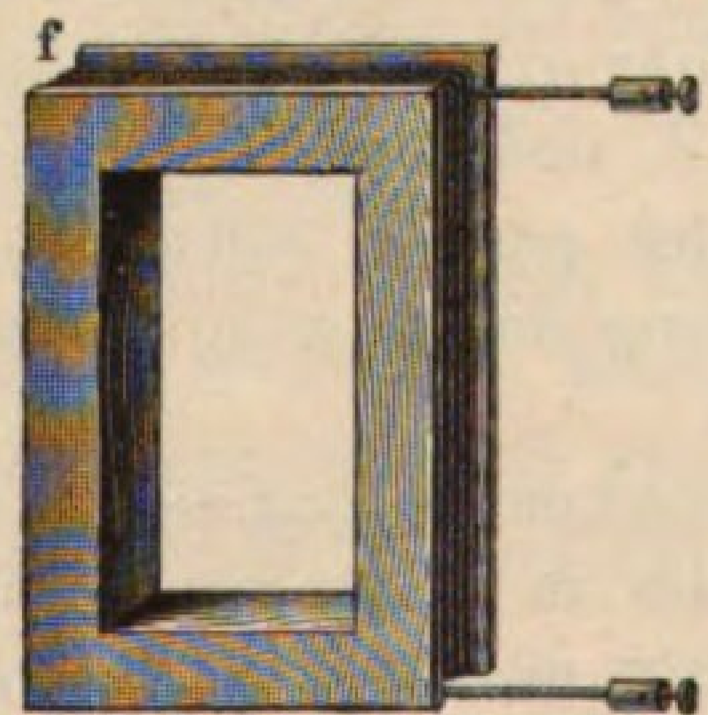


rechtwinkligen Stromleiter *abcd* und stelle, wenn sich derselbe unter dem Einfluss des Erdmagnetismus eingestellt hat, den rechtwinklig gebogenen Leitungsdraht, Fig. 387 (a. v. S.), so daneben, dass das verticale Drahtstück *fg*, Fig. 387, sich in der Nähe des verticalen Drahtstückes *bc*, Fig. 386, aber ausserhalb der Ebene des beweglichen Leiters befindet. Man beobachtet nun eine Anziehung oder eine Abstossung zwischen den benachbarten verticalen Stromarmen, je nachdem der Strom in ihnen gleich oder entgegengesetzt gerichtet ist. Man stellt den Versuch am besten in der Weise an, dass man den Strom einer Säule von etwa drei Bunsen'schen Bechern durch den beweglichen Stromleiter, den Strom von drei anderen durch den festen Draht, Fig. 387, hindurchgehen lässt. Sind die Ströme in *bc*, Fig. 386, und in *fg*, Fig. 387, gleich gerichtet, so dass Anziehung zwischen ihnen stattfindet, so braucht man nur in dem beweglichen Stromleiter, Fig. 386, oder in dem festen, Fig. 387, mittelst eines Commutators den Strom umzukehren, um die Anziehung in Abstossung zu verwandeln.

Der Versuch gelingt noch besser, wenn man statt des beweglichen Leiters, Fig. 386, den beweglichen astatischen Leiter, Fig. 379, anwendet.

Auch ist es zur Erzielung einer kräftigen Wirkung zweckmässig, statt des einfachen festen Drahtes, Fig. 387, einen Drahtrahmen, Fig. 388, anzuwenden, welcher aus 20 bis 30 Windungen eines 1 bis 2 Millimeter dicken übersponnenen Drahtes gebildet ist.

Fig. 388.



Um mit dem von Stöhrer construirten Ampère'schen Gestell die gegenseitige Einwirkung von Strömen aufeinander zeigen zu können, ist an demselben eine Vorrichtung angebracht, welche in §. 145 noch nicht besprochen wurde. Rechts von der Holzsäule *S*, welche den beweglichen Stromleiter trägt, ist noch eine zweite *R* angebracht, in deren Axe sich ein Messingstäbchen bis zur Klemmschraube *a* erhebt. Dieses Stäbchen ist von einer Messinghülse umgeben, welche bis zur Höhe *b* aufsteigt, welche aber durch mehrere isolirende Lagen von Papier vor leitender Berührung mit dem centralen Stäbchen geschützt ist.

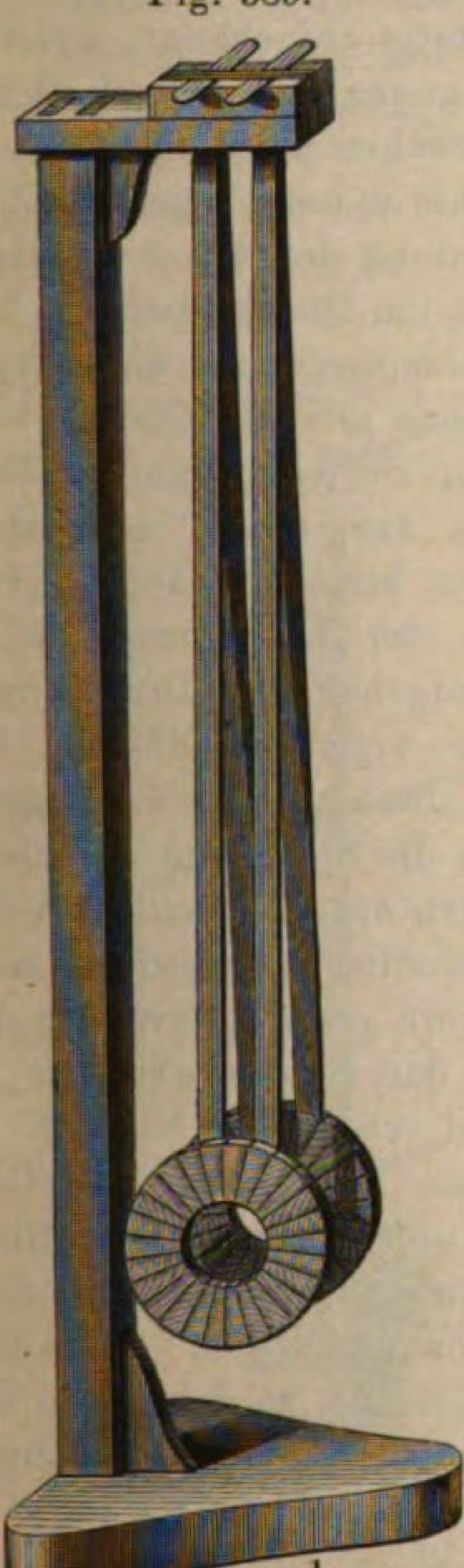
Das centrale Stäbchen ist durch einen theils unter dem Brette herlaufenden Kupferdraht mit dem Messingbogen *tu*, Fig. 384, die Messinghülse ist mit dem Messingsäulchen *v* in leitender Verbindung. Es wird nun der negative Poldraht der Säule, welcher bei der in §. 145 betrachteten Anordnung bei *t* eingeschraubt war, dort weggenommen und in dem Messingsäulchen *v* eingeschraubt; ferner wird in die Klemmschrauben bei *a* und *c* ein Draht *afc* eingeschraubt, welcher in unserer Figur durch eine punktirte Linie bezeichnet ist. Bei dieser Anordnung nun geht der positive Strom, wie auch der Commutator gestellt sein mag, in dem cen-

tralen Stäbchen hinauf und durch den Draht *afc* herunter. Der in der Säule aufsteigende Strom wirkt nun je nach der Richtung des Stroms im beweglichen Leiter anziehend oder abstossend auf den nächsten verticalen Arm desselben, ohne dass diese Wirkung durch den in grösserer Entfernung über *f* herabsteigenden Strom merklich gestört würde.

Wenn aber ein kurzer Draht zwischen den Klemmschrauben *a* und *b* eingeschraubt ist, wie es Figur 383 zeigt, so geht der Strom durch die Hülse von *b* nach *c* herunter, und nun wird die Wirkung des aufsteigenden Stroms durch den dicht neben ihm absteigenden aufgehoben, der bewegliche Leiter wird jetzt nur noch durch den Einfluss des Erdmagnetismus gerichtet.

Die Anziehung paralleler gleichgerichteter Ströme und die Abstossung paralleler entgegengesetzt laufender lässt sich sehr anschaulich mit dem Fig. 389 dargestellten, von Buff angegebenen Apparat zeigen. Zwei Bandspiralen von der bereits auf Seite 369 beschriebenen Construction sind mittelst zweier ungefähr 3 Fuss langer Zuleitungsstreifen von Kupferblech so aufgehängt, dass die Axe der einen in die Verlängerung der Axe der anderen fällt und dass die einander zugekehrten Flächen der beiden Spiralen fast in Berührung sind. Werden nun beide von dem Strome einer aus 4 bis 6 Bunsen'schen Bechern gebildeten Säule durchströmt, so stossen sie sich kräftig ab, wenn die Strömungsrichtung nicht in beiden Spiralen dieselbe ist. Die Zuleitungsstreifen, welche vorher parallel, neben einander hingen, divergiren alsdann so, dass die Spiralen 2 bis 3 Zoll auseinander stehen, wie es die Figur andeutet.

Fig. 389.



$\frac{1}{10}$

Bringt man zwischen die Zuleitungsstreifen der beiden Spiralen gegen das obere Ende hin einen ungefähr 3 Zoll dicken Holzstab, so dass die Spiralen, so lange sie nicht durchströmt sind, in 3 Zoll Abstand von einander hängen, so werden sie, wenn man einen Strom in gleicher Richtung durch sie hindurch leitet, einander so stark anziehen, dass sie vollständig zusammenklappen.

Die Art der Aufhängung kann man aus Fig. 390 a. f. S. ersehen, welche die Aufhängung der Zuleitungsstreifen für die hintere Spirale Fig. 389 darstellt.

Da gleich gerichtete parallele Ströme einander anziehen, so müssen auch die einzel-

nen Windungen einer durchströmten Drahtspirale eine anziehende Wirkung auf einander ausüben. Es lässt sich dies sehr schön mit Hülfe des Apparates Fig. 391 zeigen. Eine Spirale von Kupferdraht wird

Fig. 390.

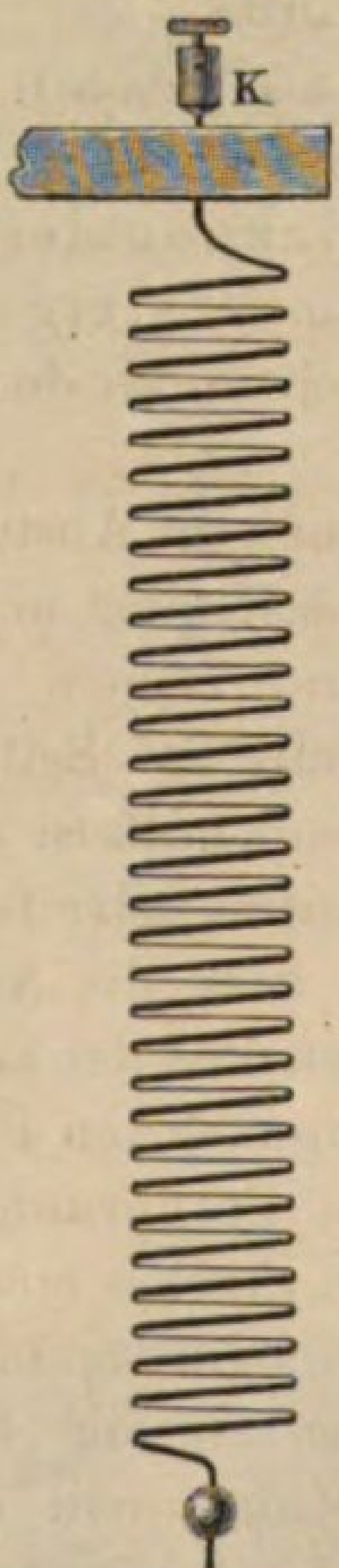
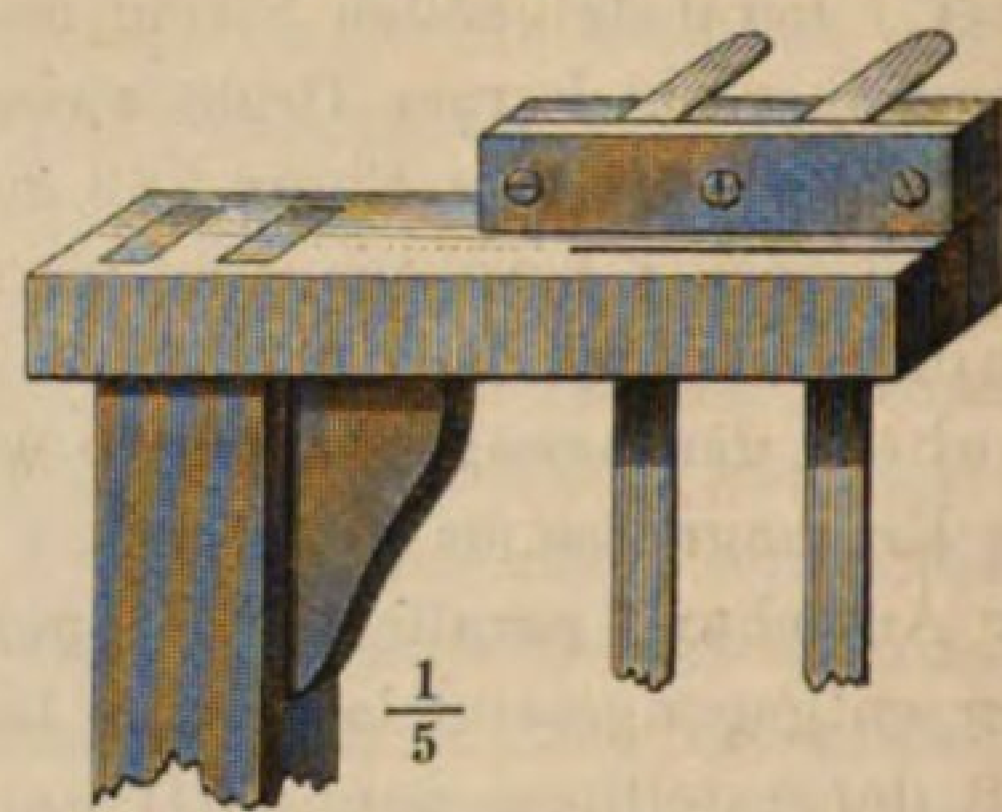


Fig. 391.



an einem passenden Stativ aufgehängt, welches erlaubt, dass man die ganze Spirale nach Belieben etwas heben oder senken kann. Das untere Ende der Spirale, welches so umgebogen ist, dass es ungefähr in der Richtung der Axe der Spirale sich befindet, hängt in ein Quecksilbernäpfchen so herab, dass die Drahtspitze eben das Quecksilber berührt. Setzt man nun das Quecksilbernäpfchen mit dem einen Pol einer Säule in Verbindung, welche etwa aus einem oder drei Bunsen'schen Bechern besteht, während von dem anderen Pol dieser Säule ein Draht zu der Klemmschraube K geführt wird, welche das obere Ende der aufgehängten Drahtspirale bildet, so beginnt dieselbe sogleich eine Reihe von Oscillationen, indem sie sich abwechselnd zusammenzieht und dann wieder verlängert. In dem Moment nämlich, in welchem der Strom die Spirale zu durchlaufen beginnt, ziehen sich die einzelnen Windungen an; dadurch wird die Spirale verkürzt, ihr unteres Ende aus dem Quecksilber gehoben und also der Strom unterbrochen. In Folge ihrer Schwere senken sich nun die Drahtwindungen wieder, bis das untere Ende der Spirale abermals in das Quecksilber eintaucht und nun dasselbe Spiel von Neuem beginnt.

Die Spirale wird dadurch hergestellt, dass man einen ungefähr 16 Meter langen, $^1/_2$ bis $^3/_4$ Millimeter dicken Kupferdraht auf eine Glasröhre von 3 bis $3^1/_2$ Centimeter äusserem Durchmesser so aufwindet, dass die Drahtgänge so dicht als möglich neben einander liegen. Wird der Draht nach einiger Zeit von der Glasröhre abgestreift, so dehnt sich die Spirale etwas aus, so dass die einzelnen Windungen etwas von einander abstehen, wie es für obigen Versuch am geeignetsten ist.

Gekreuzte Ströme. Wir nennen gekreuzte Ströme diejenigen, die nicht parallel sind, mögen sie nun in einer Ebene liegen und ihre Richtungen sich schneiden, oder mögen sie in verschiedenen Ebenen liegen, so dass sie sich nicht treffen. Im ersten Falle ist der Kreuzungspunkt derjenige, in welchem sie sich schneiden, im zweiten Falle ist es ein Punkt auf der Linie der kürzesten Entfernung beider Ströme. Zwei gekreuzte Ströme streben sich immer in der Weise parallel zu stellen, dass sie in gleicher Richtung strömen, oder mit anderen Worten: es findet Anziehung zwischen den Theilen des Stromes statt, welche nach dem Kreuzungspunkte hingehen, und dann wieder zwischen denen, welche vom Kreuzungspunkte abgehen. Abstossung aber findet statt zwischen einem Strome, welcher sich nach dem Kreuzungspunkte hin bewegt, und einem anderen, welcher von ihm weggeht. 147

Sind z. B. *ab* und *cd*, Fig. 392, zwei Ströme, deren Kreuzungs-

Fig. 394.

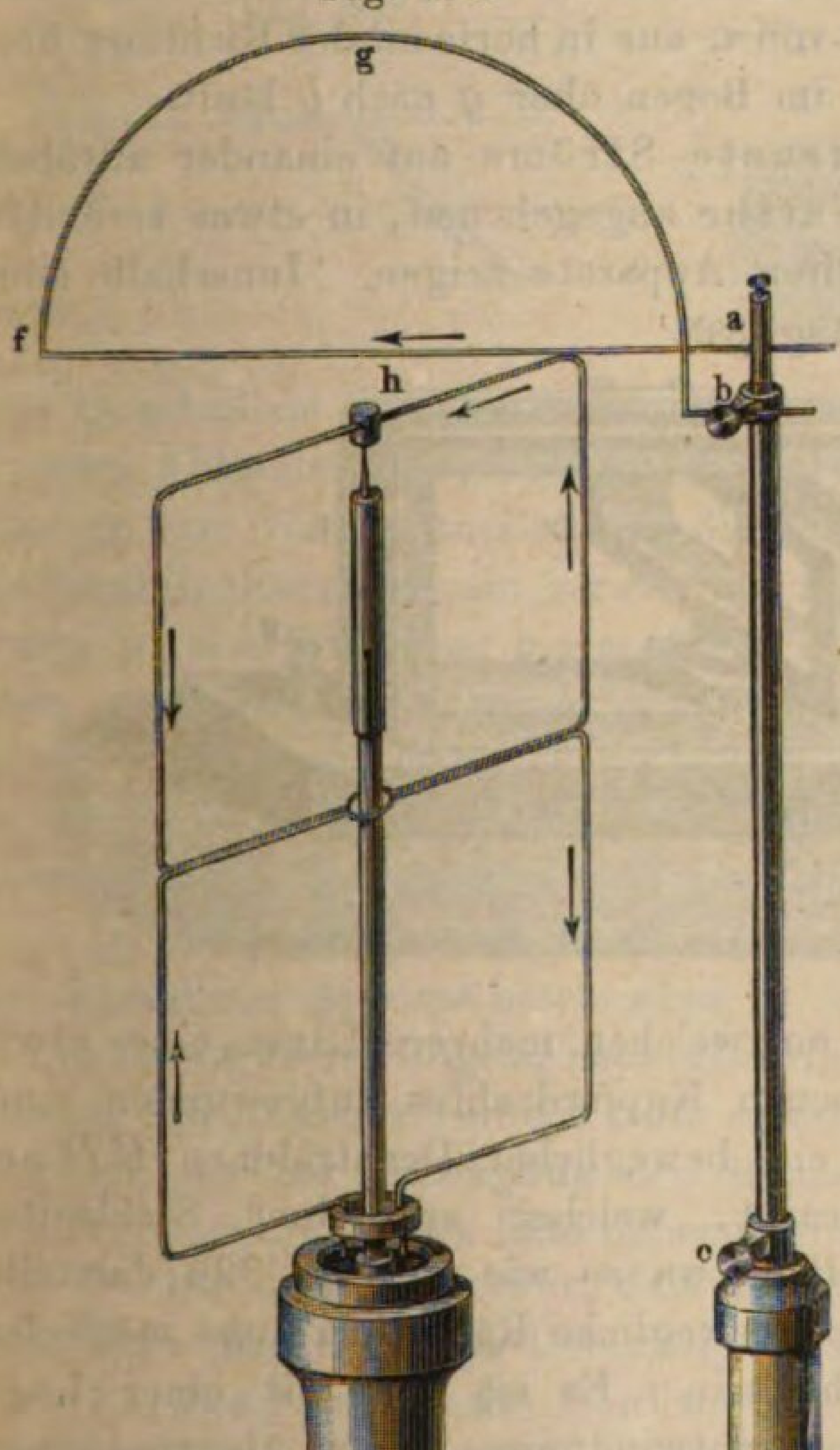


Fig. 392.

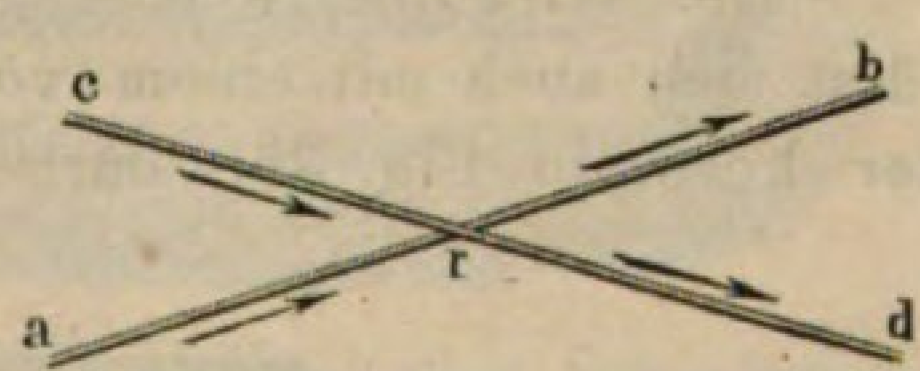
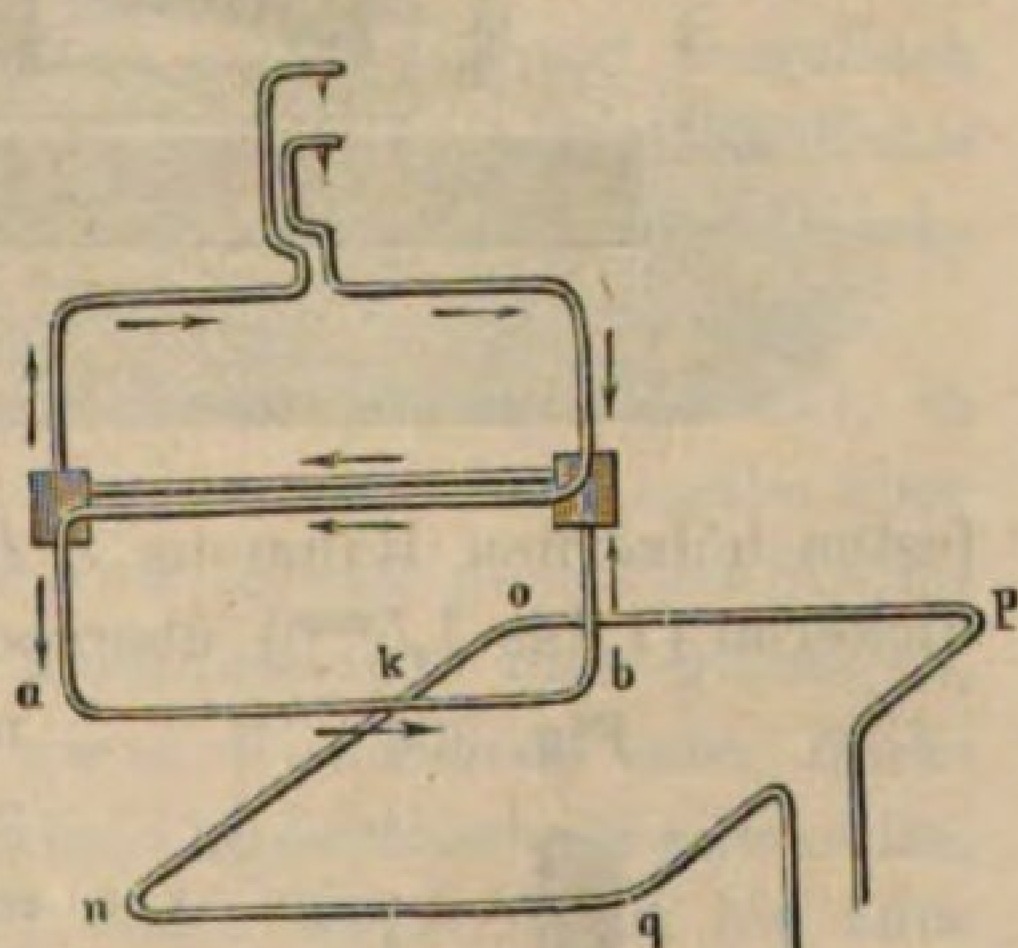


Fig. 393.



punkt *r* ist, so findet eine Anziehung zwischen den Theilen *ar* und *cr* statt, in welchen der Strom nach dem Kreuzungspunkte hingeht, und zwischen den Theilen *rb* und *rd*, in welchen er vom Kreuzungspunkt ab-

geht. Abstossung findet zwischen *ar* und *rd*, ferner zwischen *cr* und *rb* statt.

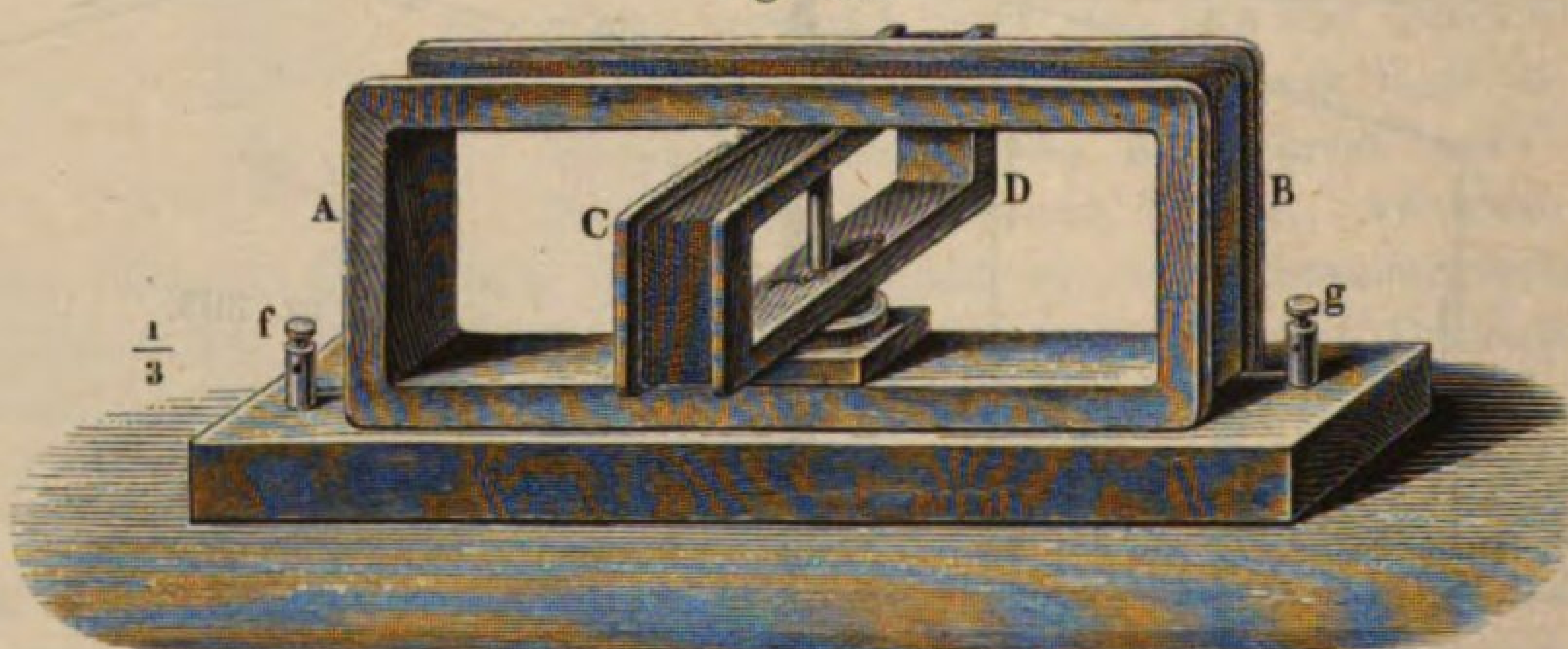
Es lässt sich dies experimentell darthun, wenn man an das Ampère'sche Gestell, Fig. 386 S. 429, eine astatische Stromvorrichtung anhängt, bei welcher, wie man in Fig. 393 a. v. S. sieht, die beiden entgegengesetzt wirkenden geschlossenen Stromtheile nicht neben einander liegen, wie Fig. 379, sondern unter einander. Hält man nun unter das horizontale Drahtstück *ab* des astatischen beweglichen Leiters einen horizontalen Leitungsdraht *qnop*, so dass *on* einen beliebigen Winkel mit *ab* macht, so wird sich der bewegliche Leiter in einer dem eben ausgesprochenen Satze entsprechenden Richtung drehen.

Es versteht sich von selbst, dass man auch hier den Drahtrahmen, Fig. 388, statt des einfachen Leiters *opqn* anwenden kann.

Um diesen Versuch mit dem Stöhrer'schen Apparate anzustellen, wird der bewegliche Leiter, Fig. 383, mit dem astatischen Leiter, Fig. 394, vertauscht, und die Klemmschrauben *a* und *b* durch einen Leitungsdraht *afgb* verbunden, der von *a* aus in horizontaler Richtung über *h* hinweg nach *f* und dann oben im Bogen über *g* nach *b* läuft.

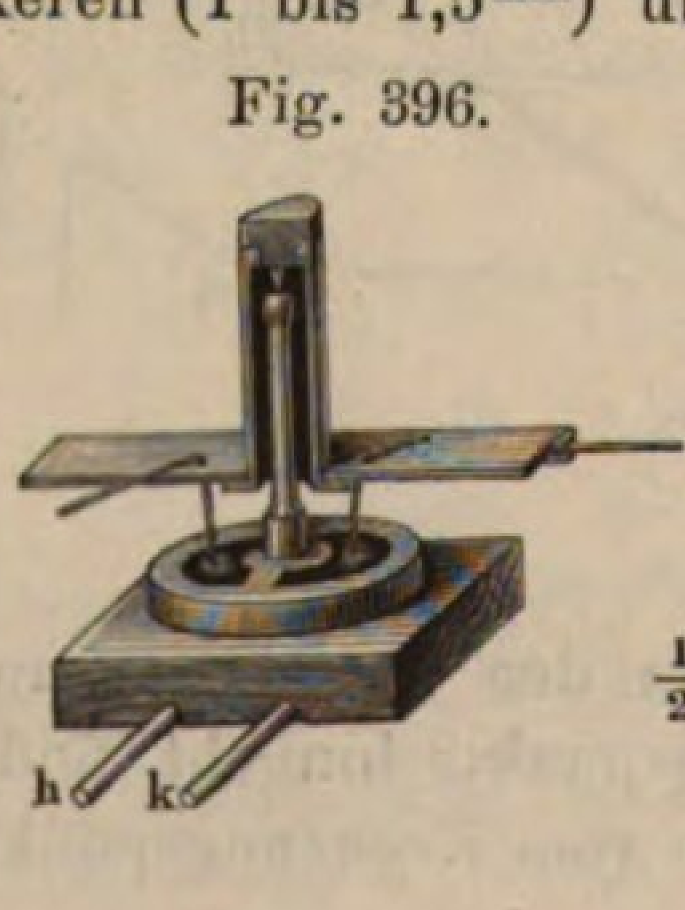
Die Wirkung, welche gekreuzte Ströme auf einander ausüben, lässt sich auch mit einem von Garthe angegebenen, in etwas veränderter Form in Fig. 395 dargestellten Apparate zeigen. Innerhalb eines

Fig. 395.



festen hölzernen Rahmens *AB*, auf welchen mehrere Lagen eines etwas dickeren (1 bis 1,5^{mm}) übersponnenen Kupferdrahtes aufgewunden sind,

Fig. 396.



ist ein beweglicher Drahtrahmen *CD* angebracht, welcher auf einer Stahlspitze spielt, etwa so wie es Fig. 396 darstellt. Dieses bewegliche Rähmchen muss möglichst leicht sein. Es ist nur mit einer Lage von Drahtwindungen eines übersponnenen dünneren (gegen $^1/_2$^{mm} dicken) Kupferdrahtes umwickelt, dessen freie Enden in zwei von einander isolirte Quecksilbernäpfchen eintauchen, wie Fig. 396 erläutert. Den

Drahtwindungen des Rahmens AB wird der Strom einer entsprechenden Batterie (für jeden Rahmen etwa zwei Bunsen'sche Becher) durch die Schraubklemmen f und g, den beiden Quecksilbernäpfchen wird er durch die Drähte h und k zugeführt.

Aus dem eben erläuterten Satze geht hervor, dass ein Strom, welcher ein im Winkel gebogenes Drahtstück abc, Fig. 397, durchströmt, ein Bestreben hat, den Draht zurückzubiegen, weil sich die Theile ab und bc des Stromes abstossen.

Diese Abstossung strebt nicht bloss, bc in die Verlängerung von ab zu bringen, sondern sie wirkt auch noch, wenn diese Bedingung erfüllt ist, d. h. die verschiedenen zusammenhängenden Theile eines und desselben geradlinigen Stromes stossen sich ab. Zur experimentellen Prüfung dieser Folgerung construirte de la Rive einen Apparat, welcher im Wesentlichen durch Fig. 398 dargestellt wird. Ein

Fig. 397.

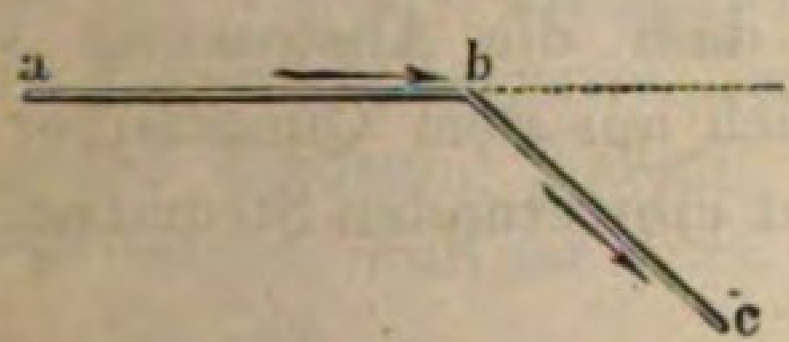
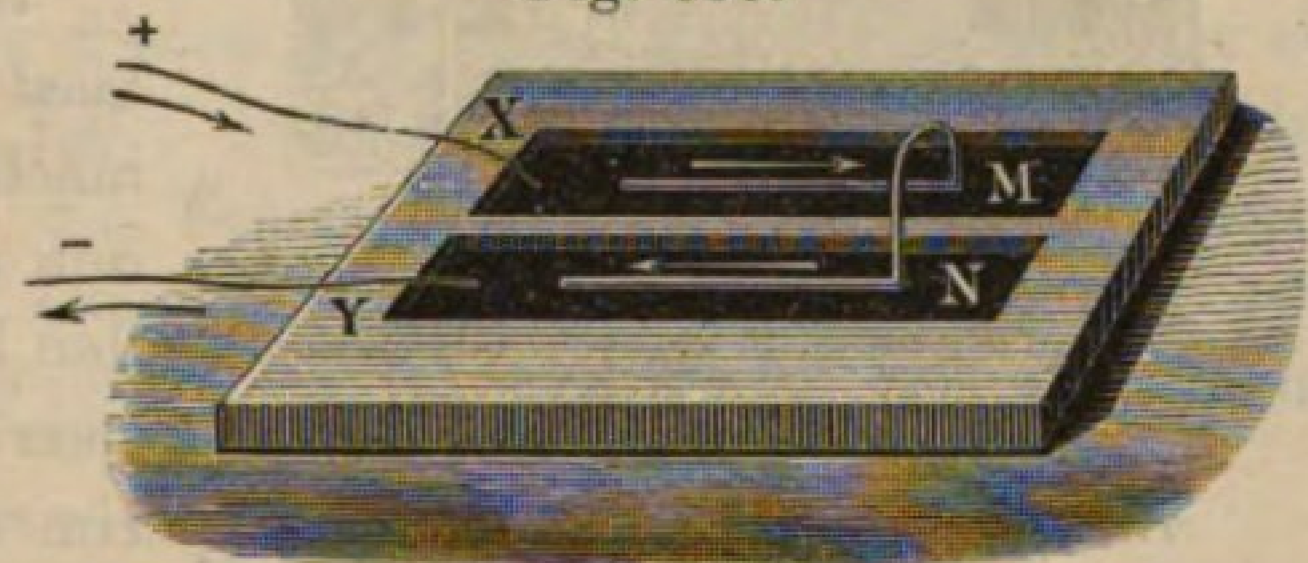


Fig. 398.



mit Quecksilber gefülltes Gefäss ist durch eine nichtleitende Scheidewand in zwei Abtheilungen getheilt. Ein dünner Kupferdraht ist so gebogen, dass er von einer Abtheilung in die andere führt, und dass sich in jeder Gefässabtheilung noch ein horizontaler Arm befindet, welcher der Scheidewand parallel ist; diese horizontalen Arme sind bis auf das Ende, welches, etwas abwärts gebogen in das Quecksilber eintaucht, mit Siegellack überzogen. Bringt man nun die beiden Poldrähte einer galvanischen Kette in die Verlängerung der horizontalen Arme dieses Drahtes in das Quecksilber, so soll der ganze Draht von diesen Poldrähten zurückweichen.

Im XXI. Bande der Annales de chimie et de physique (1822), in welchem dieser Apparat beschrieben ist, findet sich weder eine Angabe über die Drahtstärke des Bügels, noch über die in Anwendung gebrachte Stromstärke. Mir ist dieser Versuch trotz mancher Modificationen nicht gelungen, obgleich ich zur Erzeugung des Stromes zwei Ruhmkorf'sche Zinkkohlenelemente (S. 216), bald nebeneinander, bald hintereinander anwandte, und der Strom so stark war, dass der $0{,}4^{mm}$ dicke Kupferdraht bis zum Schmelzen des Siegellack-Ueberzuges erwärmt wurde.

Faraday suchte die fragliche Abstossung durch folgenden Versuch nachzuweisen: Von einem kupfernen Bügel ab, Fig. 399 a. f. S., hingen zwei dünnere amalgamirte Kupferdrähte in die von einander isolirten Quecksilbergefässe c und d herab, welche mittelst der dicken Kupferdrähte f und g mit den Polen der Säule in Verbindung gebracht werden konnten. Der Bügel ab war an dem einen Arm einer empfindlichen

Wage aufgehängt, die genau äquilibrirt worden war. Beim Schliessen der Kette stiegen die in die Quecksilbernäpfchen herabhängenden Drähte um einen Zoll in die Höhe, um wieder herabzusinken, sobald der Strom wieder unterbrochen wurde (Gilbert's Annal. LXXII).

Mit Anwendung von zwei Ruhmkorf'schen Elementen, deren Strom

Fig. 399.

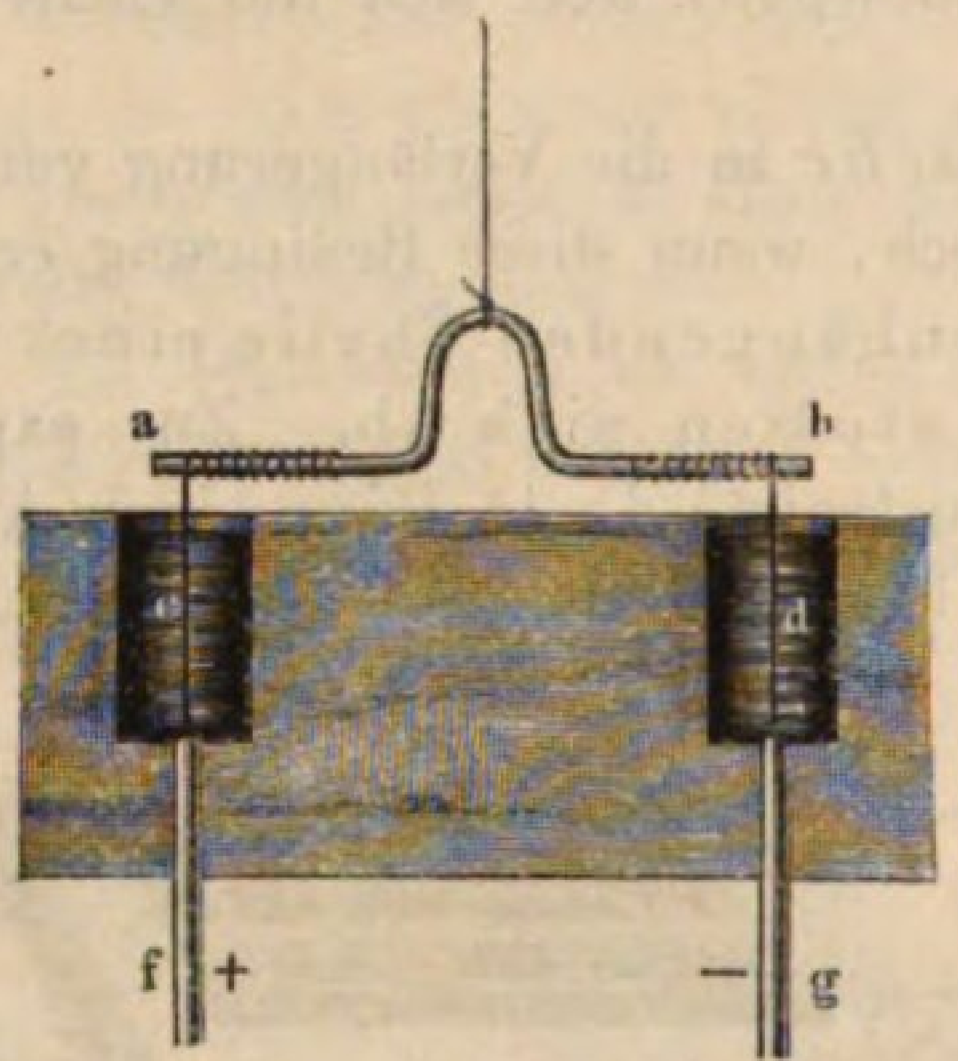


Fig. 400.



die dünnen Drähte ins Glühen brachte, konnte ich ein Heben und Senken von ungefähr 15 Millim. beobachten, als die in das Quecksilber herabhängenden Drähte $0{,}2^{mm}$ dick waren.

Gegen diese Form des Versuchs lässt sich übrigens die Einwendung machen, dass die Abstossung von den seitlich aus dem Quecksilber in den Draht eintretenden Stromtheilen herrühre.

Wenn nun aber auch der experimentelle Beweis dieses letzteren Satzes allerdings noch zweifelhaft ist, so ist doch die Wahrheit, dass zwei gleichgerichtete Stromtheilchen A und B, Fig. 400, welche mit der Richtung ihrer Verbindungslinie zusammenfallen, eine abstossende Wirkung auf einander ausüben, nicht in Zweifel zu ziehen, indem sie sich als nothwendige Folge der übrigen Gesetze ergiebt, nach welchen zwei Ströme auf einander wirken.

148 **Elektrodynamisches Gesetz.** Wir haben die gegenseitige Wirkung zweier Ströme nur in einigen speciellen Fällen kennen gelernt. Ampère hat aber ein Gesetz aufgestellt, nach welchem sich für alle gegenseitigen Lagen die gegenseitige Einwirkung zweier Stromtheilchen berechnen lässt. Dieses Gesetz, nach welchem die Theilchen ab und cd, Fig. 401, zweier Stromleiter auf einander wirken, ist nach Ampère durch die Gleichung

$$R = \frac{ii'}{r^2} (\cos \varepsilon - {}^3/_2 \cos \Theta \cos \Theta')\, ss'$$

ausgedrückt, d. h. diese Gleichung drückt die Grösse der Kraft R aus, mit welcher die beiden Stromelemente (die jedoch nicht in einer Ebene zu liegen brauchen) auf einander in der Richtung derjenigen Linie wirken, welche ihre Mittelpunkte verbindet, vorausgesetzt, dass r die Entfernung dieser Mittelpunkte, i die Stromstärke in dem einen, i' die im anderen Stromelemente, s aber die Länge des einen, s' die des anderen Stromelementes bezeichnet. Es ist ferner ε der Winkel, welchen cd mit

ab macht; Θ ist der Winkel, welchen das eine, Θ' der Winkel, welchen das andere Stromelement mit ihrer Verbindungslinie macht. Für zwei parallele Stromtheilchen A und B, Fig. 402, welche bei gleicher Rich-

Fig. 401.

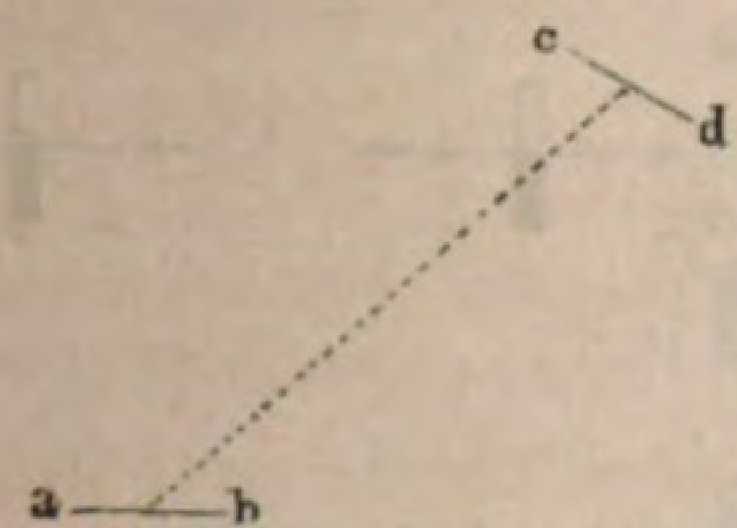
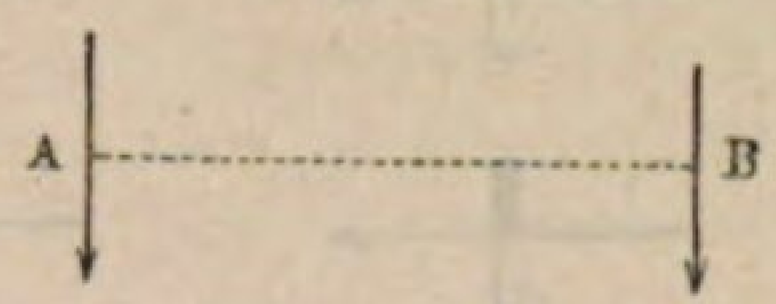


Fig. 402.



tung rechtwinklig auf ihrer Verbindungslinie stehen, ist $\varepsilon = 0$, Θ und $\Theta' = 90^0$, es wird also: $R = \frac{ii'}{r^2} \cdot ss'$.

Die Gleichung zeigt also in diesem Falle eine Anziehung an, wie sie auch der Versuch nachgewiesen hat. Da $\cos 180^0 = -1$, so wird der Werth von R negativ, wenn die beiden parallelen Ströme entgegengesetzte Richtung haben, also wenn $\varepsilon = 180^0$ ist. Für den Fig. 400 dargestellten Fall ist $\varepsilon = 0$, $\Theta = \Theta' = 0$, der Werth von R reducirt sich also auf

$$R = -\,{}^1\!/_2\,\frac{ii'}{r^2}\,ss'.$$

Die Ampère'sche Gleichung zeigt also für diesen Fall eine Abstossung an; kurz wir sehen, dass das Ampère'sche Gesetz wirklich alle speciellen Fälle der gegenseitigen Einwirkung zweier Stromtheilchen umfasst, die wir oben kennen gelernt haben.

Man kann sich die Wirkung, welche irgend zwei Stromelemente nach dem Ampère'schen Gesetz auf einander ausüben, dadurch versinnlichen, dass man sich jedes derselben durch ein kleines Magnetstäbchen ersetzt denkt, welches rechtwinklig auf der Stromrichtung steht und welches seinen Nordpol links, seinen Südpol rechts von derselben liegen hat. Diese beiden Magnetstäbchen, die man sich ausserdem in der Ebene liegend denken muss, welche man durch die Verbindungslinie der beiden Stromelemente und die Richtung der einen gelegt denken kann, werden dieselbe anziehende oder abstossende Wirkung auf einander ausüben, wie die Stromelemente, statt deren sie gesetzt wurden. Auf diese Weise übersieht man z. B. leicht, dass in dem Falle Fig. 403 (a. f. S.) Anziehung der Stromelemente stattfinden muss, Abstossung aber für die in Fig. 404 (a. f. S.) und 405 (a. f. S.) dargestellten Fälle.

Die experimentelle Bestätigung der Ampère'schen Theorie ist allerdings etwas mangelhaft; vorzugsweise ist ins Auge zu fassen, dass sich jenes Gesetz auf die Wirkung zweier Stromelemente bezieht, wir aber unsere Versuche nur mit geschlossenen Strömen anstellen können, so dass wir die Wirkung zweier Stromtheile auf einander nie ganz rein, wenn

auch in günstigen Fällen entschieden überwiegend, darzustellen im Stande sind. Ampère selbst hat seine Theorie aus verhältnissmässig mangel-

Fig. 403.

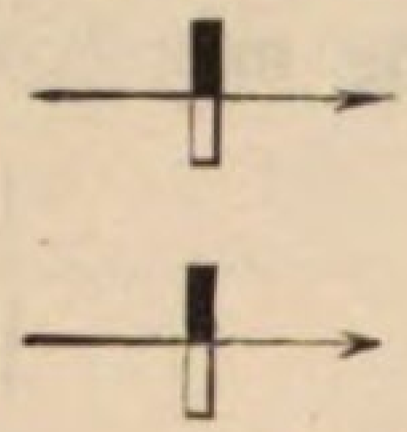


Fig. 404.

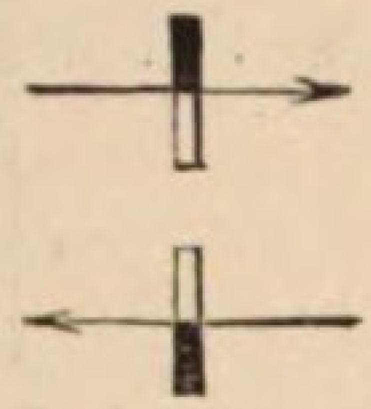


Fig. 405.



haften Versuchen abgeleitet; alle seine Versuche sind qualitativer, nicht quantitativer Natur. Für eigentliche Messungen waren seine Apparate freilich nicht brauchbar.

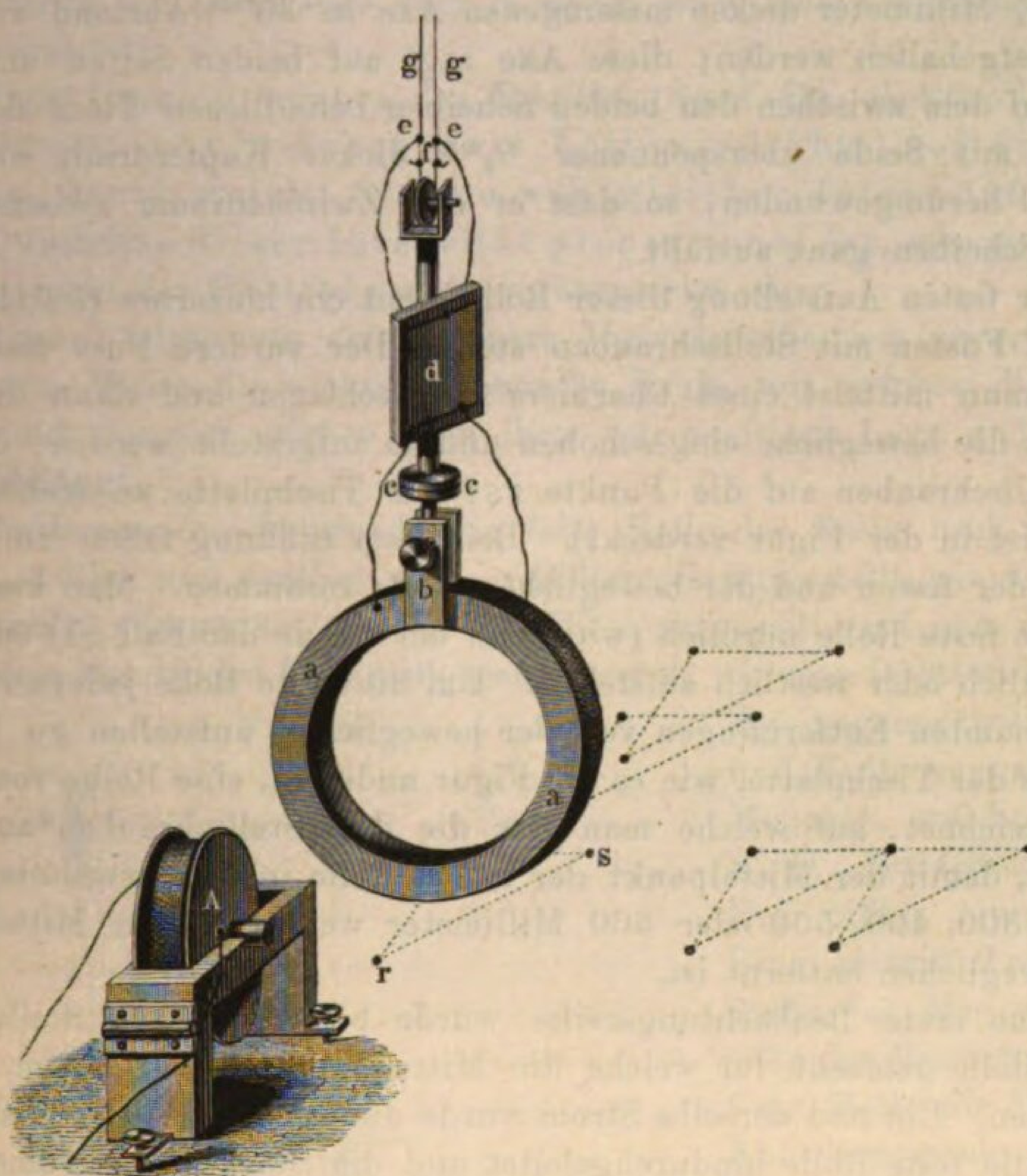
Weber hat nun diese Lücke ausgefüllt. Zunächst hat er nicht die Wirkung einzelner Stromelemente auf einander untersucht, sondern er hat berechnet, welches nach der Ampère'schen Theorie die Gesammtwirkung zweier durchströmten Drahtrollen auf einander sein müsse, und hat dann dieses Resultat der Theorie durch messende Versuche geprüft.

149 **Weber's elektrodynamische Versuche.** Bei der Ampère'schen Aufhängung ist die Reibung, welche der bewegliche Stromleiter bei seiner Drehung zu überwinden hat, sehr bedeutend, ein Umstand, welcher die messende Bestimmung der hier wirkenden Kräfte unmöglich macht. Weber hat diese Schwierigkeit dadurch umgangen, dass er eine Drahtrolle bifilar aufhing und die beiden Aufhängungsdrähte als Zuleitung für den galvanischen Strom benutzte.

Eine der einfacheren Formen einer solchen Bifilarrolle sieht man in Fig. 406 abgebildet. Die Bifilarrolle *a* besteht aus einem dünnen Messingringe von 100^{mm} Durchmesser und 30^{mm} Breite, welcher zwei parallele Messingscheiben von 123^{mm} äusserem und 100^{mm} innerem Durchmesser verbindet, und in 30^{mm} Abstand von einander hält. Auf jenem Messingringe zwischen den beiden Scheiben ist ein Kupferdraht von $^1/_3{}^{mm}$ Durchmesser, der mit Seide übersponnen ist, ungefähr 3000mal herumgewunden, so dass er den Zwischenraum zwischen beiden Scheiben ganz ausfüllt. Nach Aufwindung des Drahtes wurden die beiden Messingscheiben durch eine messingene Klemme *b* verbunden, welche in ihrer Mitte den Torsionskreis *c* trägt. Die obere Scheibe des Torsionskreises trägt einen hölzernen Zapfen, an dessen oberem Ende eine Gabel mit einer sehr beweglichen Rolle von 20^{mm} Durchmesser befestigt ist. Unter dieser Rolle ist ein seidener Faden weggeführt, welcher zu beiden Seiten der Rolle senkrecht nach oben geht und an den beiden Suspensionsdrähten *g g* angeknüpft ist. Mit den beiden Enden der Suspensionsdrähte sind nun noch die beiden Drahtenden der Rolle in Verbindung gebracht, so dass der galvanische Strom, in einem Aufhängedraht heruntersteigend, in die Drahtrolle übergeht und, nachdem er ihre Windungen

durchlaufen hat, im anderen Suspensionsdrahte aufsteigend zurückkehrt. Die beiden Suspensionsdrähte sind an zwei an der Decke befindlichen

Fig. 406.



isolirten Haken befestigt, durch welche die Zuleitung des Stromes stattfindet. Die Aufhängedrähte sind von Kupfer und bei 1 Meter Länge $^1/_6{}^{mm}$ dick.

Bei den Weber'schen Versuchen wurde die Axe der Bifilarrolle in den magnetischen Meridian gebracht, so also, dass ihre Ebene rechtwinklig auf demselben stand. An dem Holzzapfen ist ein Spiegel *d* befestigt, so dass man die Ablenkung der Rolle aus ihrer Gleichgewichtslage mit einem Fernrohre auf die bekannte Weise ablesen kann.

Der Benennung eines aufgehängten Magnetstabes (Magnetometer) entsprechend, nennt Weber eine durch ihre Aufhängung leicht bewegliche, den Strom leitende Drahtrolle ein Dynamometer, und zwar ist das eben beschriebene ein Bifilar-Dynamometer.

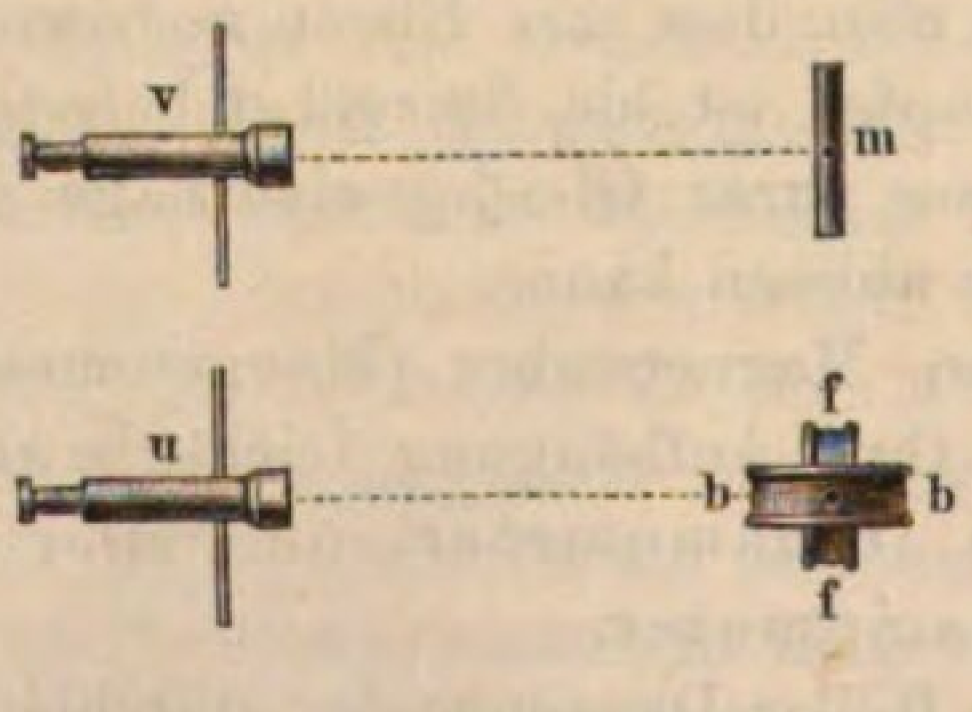
Wenn ein galvanischer Strom das Bifilar-Dynamometer durchläuft, so wird es aus seiner oben bezeichneten Gleichgewichtslage abgelenkt werden, sobald man ihm einen Magnetstab oder auch eine zweite galvanisch durchströmte Drahtrolle nähert.

Die feste Drahtrolle, durch welche Weber auf die Bifilarrolle einwirkte, ist gleichfalls in Fig. 406 abgebildet. Sie besteht aus zwei dünnen parallelen Messingplatten von 89 Millimeter Durchmesser, welche von einer $5\frac{1}{2}$ Millimeter dicken messingenen Axe in 30^{mm} Abstand von einander festgehalten werden; diese Axe ragt auf beiden Seiten um 10^{mm} vor. Auf dem zwischen den beiden Scheiben befindlichen Theil der Axe ist ein mit Seide übersponnener $\frac{1}{3}^{mm}$ dicker Kupferdraht ungefähr 1000mal herumgewunden, so dass er den Zwischenraum zwischen den beiden Scheiben ganz ausfüllt.

Zur festen Aufstellung dieser Rolle dient ein hölzernes Gestell, welches auf Füssen mit Stellschrauben steht. Der vordere Fuss dieses Gestelles kann mittelst eines Charniers aufgeschlagen und dann die feste Rolle in die bewegliche eingeschoben und so aufgestellt werden, dass die drei Stellschrauben auf die Punkte *rst* der Tischplatte zu stehen kommen (*t* ist in der Figur verdeckt). Bei dieser Stellung fallen die Mittelpunkte der festen und der beweglichen Rolle zusammen. Man kann aber auch die feste Rolle nördlich (wie es in der Figur der Fall ist) oder südlich, östlich oder westlich aufstellen. Um die feste Rolle jederzeit leicht in bestimmten Entfernungen von der beweglichen aufstellen zu können, sind auf der Tischplatte, wie es die Figur andeutet, eine Reihe von Punkten bezeichnet, auf welche man nur die drei Stellschrauben zu setzen braucht, damit der Mittelpunkt der festen Rolle in den erwähnten Richtungen 300, 400, 500 oder 600 Millimeter weit von dem Mittelpunkte der beweglichen entfernt ist.

Eine erste Beobachtungsreihe wurde bei derjenigen Stellung der festen Rolle gemacht, für welche die Mittelpunkte beider Rollen zusammenfallen. Ein und derselbe Strom wurde durch die Bifilarrolle und dann durch die feste Rolle hindurchgeleitet und die Stärke des Stromes durch die Ablenkung gemessen, welche die feste Rolle an einem nördlich oder südlich angebrachten Magnetometer bewirkt. Die Anordnung des Versuches ist aus Fig. 407 ersichtlich. *bb* ist die Bifilarrolle, *ff* die feste Rolle und *m* das Magnetometer, während bei *u* und *v* Fernröhre mit Scalen zur Beobachtung der Drehung von *b* und *m* aufgestellt sind.

Fig. 407.



Wenn der Strom von 1 bis 3 Grove'schen Bechern gleichzeitig durch beide Rollen geht, so wird die Ablenkung der Bifilarrolle so gross, dass sie weit über die Gränzen der Beobachtungsscala hinausgeht, während der Strom der festen Rolle an dem Magnetometer eine für die Messung ganz geeignete Ablenkung hervorbringt. Um diesem Uebelstande abzuhelfen, brachte Weber an den Zuleitungsdrähten für die Bifilarrolle eine Nebenschliessung an, durch welche die Strom-

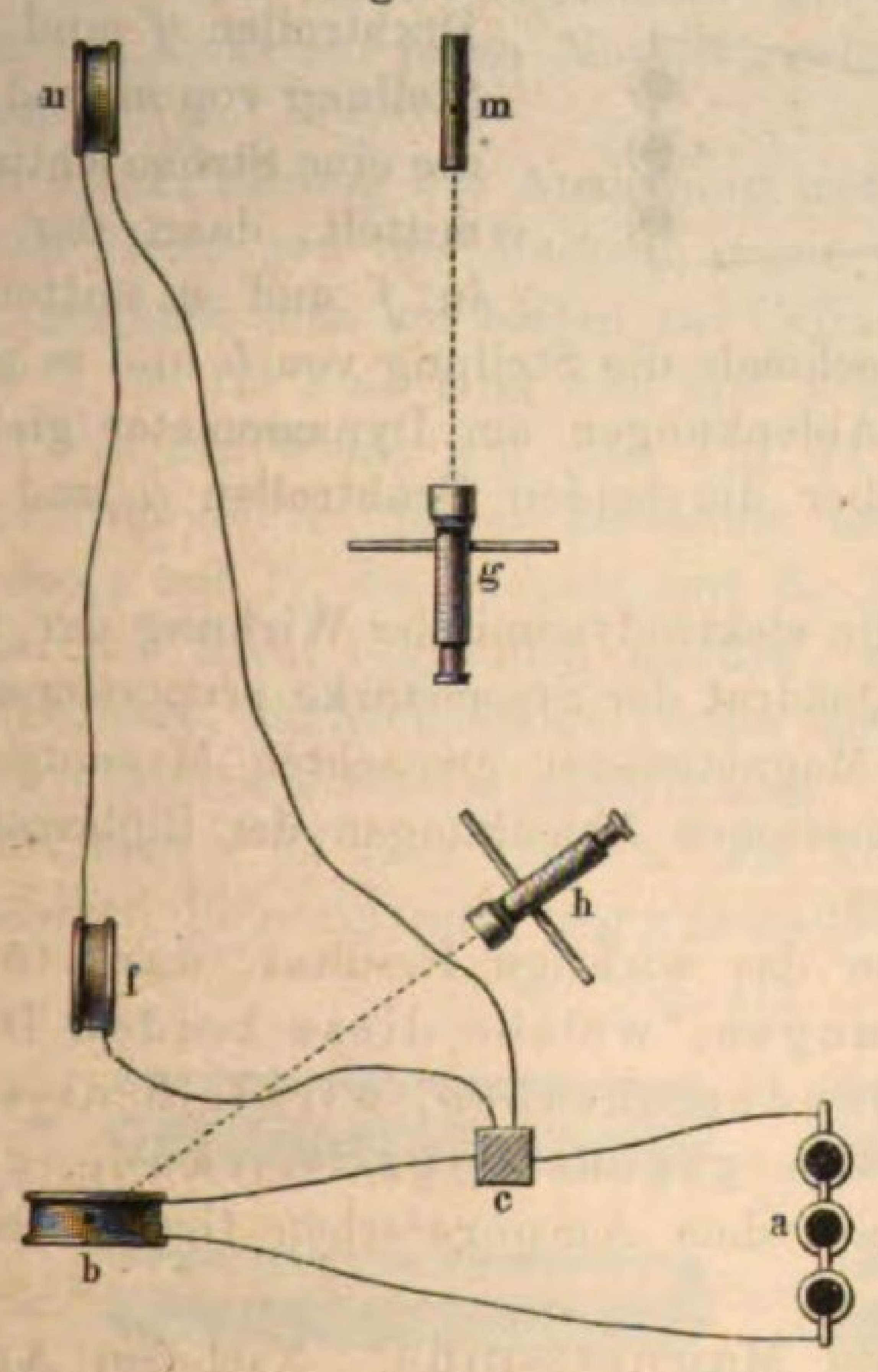
stärke in der Bifilarrolle im Verhältniss von 246,26 zu 1 vermindert wurde, während der Strom in der festen Rolle unverändert blieb. Freilich ist jetzt die Stromstärke in beiden Rollen nicht mehr dieselbe, die Stromstärke der einen steht aber in einem constanten Verhältniss zu der in der anderen.

Diese Versuche ergaben das Resultat, dass die elektrodynamische Kraft, mit welcher zwei Leitungsdrähte auf einander wirken, durch welche Ströme von gleicher Intensität gehen, dem Quadrate dieser Intensität proportional ist, wie es in dem Grundprincip der Elektrodynamik vorausgesetzt ist.

Hierauf folgte nun eine grössere Versuchsreihe, um zu erforschen, auf welche Weise die elektrodynamische Kraft, mit welcher die beiden Rollen auf einander wirken, von ihrer gegenseitigen Lage und Entfernung abhängt.

Zu diesem Zwecke wurde die feste Rolle der Reihe nach nördlich, östlich, südlich und westlich von der Bifilarrolle aufgestellt, wie dies schon oben auseinandergesetzt worden ist. Diese gegenseitigen Lagen und Entfernungen der beiden Drahtrollen entsprechen, wie man leicht sieht, genau den gegenseitigen Lagen und Entfernungen zweier Magnete, welche wir in §. 21 betrachtet haben. Der bifilar aufgehängte Ring vertritt hierbei die Stelle des Magnetometers oder der Magnetnadel, die feste Rolle die Stelle des Ablenkungsstabes.

Fig. 408.

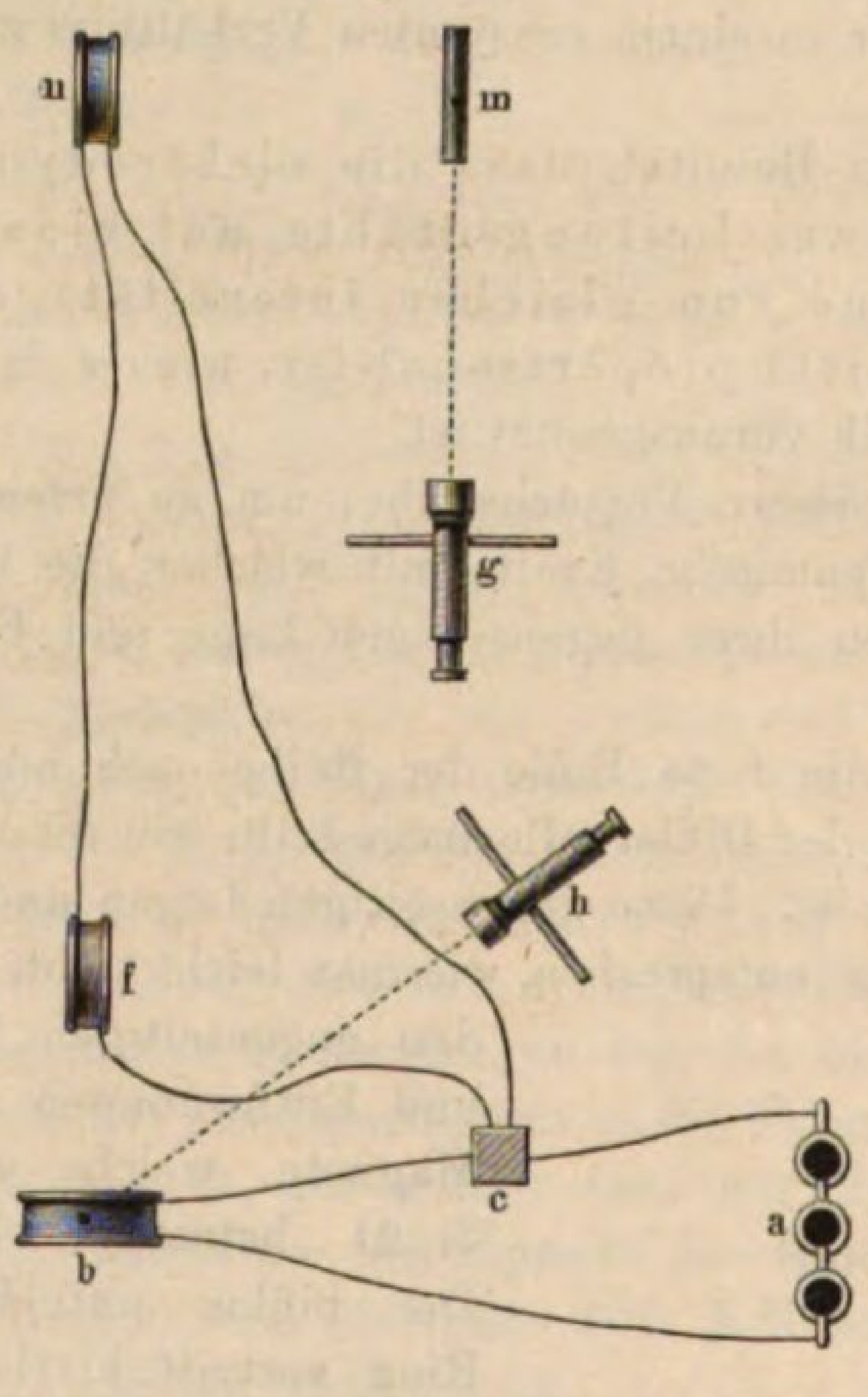


Gleichzeitig mit den Ablenkungen des Dynamometers muss aber auch die Stromstärke gemessen werden. Auf die bei der vorigen Versuchsreihe angewandte Weise kann dies hier nicht geschehen, weil die Stellung der festen Rolle verändert wird; es wurde deshalb der Strom auch noch durch eine dritte unveränderlich fest stehende Drahtrolle geführt und die Ablenkung gemessen, welche diese an einem Magnetometer bewirkt. Die ganze Anordnung ist aus Fig. 408 zu ersehen.

b ist die Bifilarrolle, *f* die verstellbare Rolle, *m* ein Magnetometer, welches 8 Meter weit von *b* entfernt ist, *n* eine unveränderlich aufge-

stellte Rolle von 618 Windungen, welche von einem Strom durchlaufen auf das Magnetometer wirkt. Der Strom geht von dem einen Pole der galvanischen Säule *a* zur Bifilarrolle, von dieser zum Commutator *c*, dann über die Rolle *f* zur Rolle *n*, von dieser zurück zum Commutator und von diesem endlich zum anderen Pole der Säule.

Fig. 409.



Durch den Commutator kann also die Stromrichtung in *f* und *n* geändert werden, während sie in der Bifilarrolle *b* stets dieselbe bleibt.

Es wurde nun bei jeder gegenseitigen Lage und Entfernung der beiden Drahtrollen *f* und *b* die Stellung von *m* und *b* für die eine Stromrichtung ermittelt, dann der Strom in *f* und *n* mittelst des Commutators umgekehrt und nochmals die Stellung von *b* und *m* abgelesen. Die Differenz der beiden Ablenkungen am Dynamometer giebt ein Maass für die Kraft, mit welcher die beiden Drahtrollen *b* und *f* auf einander wirken.

Da wir nun wissen, dass die elektrodynamische Wirkung der beiden Drahtrollen auf einander dem Quadrat der Stromstärke proportional sind, so ist man vermöge der am Magnetometer gemachten Messungen der Stromstärke im Stande, die gemessenen Ablenkungen der Bifilarrolle auf gleiche Stromstärke zu reduciren.

Diese Versuche gaben nun das wichtige Resultat, dass für die elektrodynamischen Wirkungen, welche diese beiden Drahtrollen in die Ferne auf einander ausüben, wirklich dieselben Gesetze gelten, wie für die gegenseitige Wirkung zweier Magnete, wie sich dies auch aus dem Ampère'schen Gesetze ergiebt.

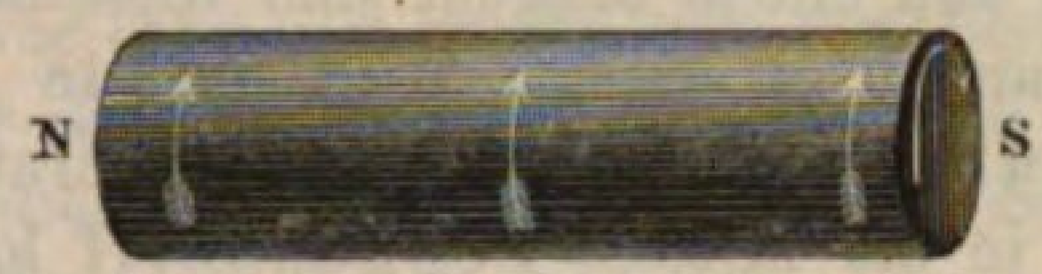
150 **Ampère's Theorie des Magnetismus.** Nachdem Ampère die Gesetze der Elektrodynamik begründet hatte, suchte er alle Erscheinungen des Magnetismus auf dieselben zurückzuführen und stellte eine Theorie auf, nach welcher man sich jedes einzelne Molekül eines Magnets als von einem in sich selbst zurückkehrenden elektrischen Strom umkreist zu denken hat, den man der Einfachheit wegen als kreisförmig

annehmen kann. Denken wir uns nun die sämmtlichen Molekularströmchen eines Stahlstabes rechtwinklig zu seiner Axe gestellt, so dass Fig. 410

Fig. 410.



Fig. 411.



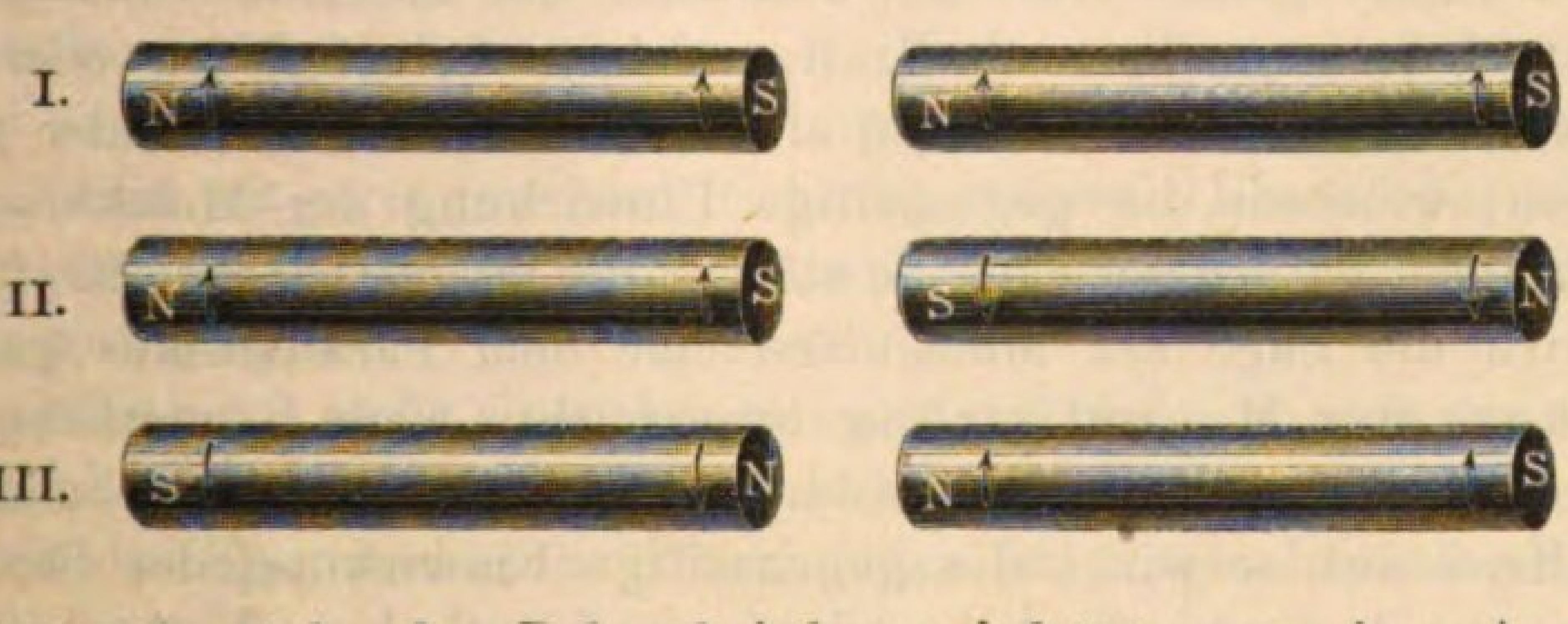
das schematische Bild eines Querschnittes darstellt, so lässt sich die magnetische Wirkung des Stabes vollkommen durch die elektrodynamische Wirkung dieser Molekularströmchen erklären. Statt aller der elementaren Ströme eines jeden Querschnittes kann man sich denselben von einem einzigen Strome umkreist denken, welcher gleichsam die Resultirende aller elementaren Ströme dieses Querschnitts ist, und somit lässt sich ein Magnetstab als ein System unter sich paralleler geschlossener Ströme denken, ungefähr so, wie es Fig. 411 anschaulich macht.

Was hier von einem Magnetstabe gesagt ist, lässt sich auch auf eine Magnetnadel, kurz auf jeden Magnet, welche Form er auch haben mag, anwenden.

Um die Erklärung der Anziehung und Abstossung der Pole bei verschiedenen Stellungen der Magnete gegen einander recht anschaulich zu machen, zeichnet man am besten auf Cylinder von Holz oder Pappe, die ungefähr 1 bis 1,5 Fuss lang sind und 2 bis 3 Zoll im Durchmesser haben, Pfeile in der Weise, wie man Fig. 411 sieht, welche die Richtung der Ströme darstellen; ferner bezeichne man noch auf beiden Cylindern die Nordpole mit *N*, die Südpole mit *S*. Mit Hülfe zweier solcher Modelle lässt sich leicht begreiflich machen, warum gleichnamige Pole sich immer abstossen, ungleichnamige immer anziehen, in welcher Weise sie man auch übrigens einander nähern mag.

Stellt man z. B. zwei Stäbe so wie Nro. I. Fig. 412 zeigt, dass die gleichnamigen Pole einander gegenüberstehen, so sind die Pfeile der ein-

Fig. 412.



ander gegenüberstehenden Pole gleich gerichtet, was einer Anziehung entspricht. Wenn dagegen die gleichnamigen Pole einander zugekehrt

werden, wie in Nro. II. und III. Fig. 412, so haben die Pfeile an den einander zugekehrten Polen entgegengesetzte Richtung, woraus sich die Abstossung gleichnamiger Pole erklärt.

Trotz der Analogie zwischen einem elektrodynamischen Schraubendraht und einem Magnet sind dieselben doch keineswegs in allen ihren Wirkungen identisch. Während ein Magnet an seinen Enden am kräftigsten wirkt, findet sich beim Schraubendraht das Maximum der Wirkung in der Mitte. Poggendorff hat dies durch einen einfachen Versuch anschaulich gemacht.

Man verschaffe sich einen hohlen Magnetstab, etwa 3 Zoll lang und inwendig 2,5 Linien weit; füttere ihn mit einer Glasröhre aus und halte ihn senkrecht, z. B. mit dem Nordpol nach oben. Nun schiebe man vorsichtig eine leichte magnetische Nähnadel von etwa 9 Linien Länge mit ihrem Südpol von oben hinein. Sie wird nicht durchfallen, sondern zum Theil noch aus dem Magnet hervorragend oben schweben. Man kann sie sogar eine Strecke hinunterdrücken, und sie steigt nach Aufhebung des Druckes wieder in die Höhe. Bei einem Schraubendrahte aber begiebt sich die Nadel sogleich in die Mitte und bleibt dort schweben, wenn der Strom stark genug ist.

Um die Erscheinungen des Magnetismus mit Hülfe der Ampère-schen Elementarströmchen vollständig erklären zu können, muss man annehmen, dass sie die Eisen- oder Stahlmoleküle beständig umkreisen, dass sie also auf ihrem Wege um die Moleküle keinen Leitungswiderstand zu überwinden haben, denn sonst könnten sie ohne eine beständig wirkende elektromotorische Kraft nicht continuirlich sein. Diese Molekularströme muss man ferner als frei um den Schwerpunkt ihrer Moleküle drehbar annehmen, nur wirkt die Coërcitivkraft, welche im Eisen unbedeutend, im Stahl dagegen sehr stark ist, ihrer Drehung entgegen und strebt sie in jeder Lage zurückzuhalten, welche sie eben einnehmen. Wenn auf einen Eisenstab keinerlei magnetisirende Kraft wirkt, so nehmen die einzelnen Molekularströmchen unter dem Einfluss ihrer gegenseitigen Einwirkung auf einander solche gegenseitige Stellungen an, dass ihre Totalwirkung auf irgend einen ausserhalb befindlichen magnetischen Punkt gleich Null ist, dass also der Eisenstab unmagnetisch erscheint. Jede magnetisirende Kraft, welche auf einen Eisen- oder Stahlstab wirkt, hat nun ein Bestreben, alle Molekularströme einander parallel zu stellen, welchem die gegenseitige Einwirkung der Molekularströme unter einander entgegenwirkt. Je stärker die magnetisirende Kraft, desto mehr wird die Lage der Molekularströme dem Parallelismus genähert. Die Gränze der Magnetisirung ist erreicht, wenn sämmtliche Molekularströmchen parallel gestellt sind. Hört die Wirkung der magnetisirenden Kraft auf, so wirkt die gegenseitige Einwirkung der Strömchen dahin, sie in ihre ursprüngliche, dem unmagnetischen Zustand entsprechende Lage zurückzuführen; bei einem Stahlstab hindert die Coërcitiv-

kraft die vollständige Rückkehr in die ursprüngliche Lage, weshalb demselben ein permanenter Magnetismus bleibt.

Um nach der Ampère'schen Theorie die Erscheinungen des Erdmagnetismus zu erklären, muss man sich die Erde von elektrischen Strömen umkreist denken, welche im Wesentlichen dem magnetischen Aequator parallel sind, und zwar lässt sich leicht aus der Stellung, welche ein beweglicher Leiter, Fig. 376 Seite 423, am Ampère'schen Gestell unter dem Einfluss des Erdmagnetismus einnimmt, der Schluss ziehen, dass diese Erdströme von Ost nach West gehen.

Rotation eines beweglichen Stromes um einen Magnet. 151

Es sei S, Fig. 413, die obere Endfläche (Südpol) eines vertical stehenden Magnets, dg ein neben ihm befindlicher, noch über den Pol S des Magnets hinausragender Leitungsdraht, in welchem ein positiver Strom aufsteigt. Bezeichnen wir nun mit f denjenigen Punkt des Drahtes, welcher mit dem oberen Ende des Magnets in gleicher Höhe liegt, so ist nach den in §. 147 auseinandergesetzten Principien klar, dass das Stück ab des Magnetstromes auf das Drahtstück fg abstossend wirkt, während dasselbe von der Partie bc des Magnetstromes angezogen wird; ist also der Leitungsdraht dg um die verticale Axe des Magnets frei drehbar, so muss er in Folge dieses Impulses in der Richtung der Pfeile ab und bc um den Magnet rotiren.

Fig. 413.



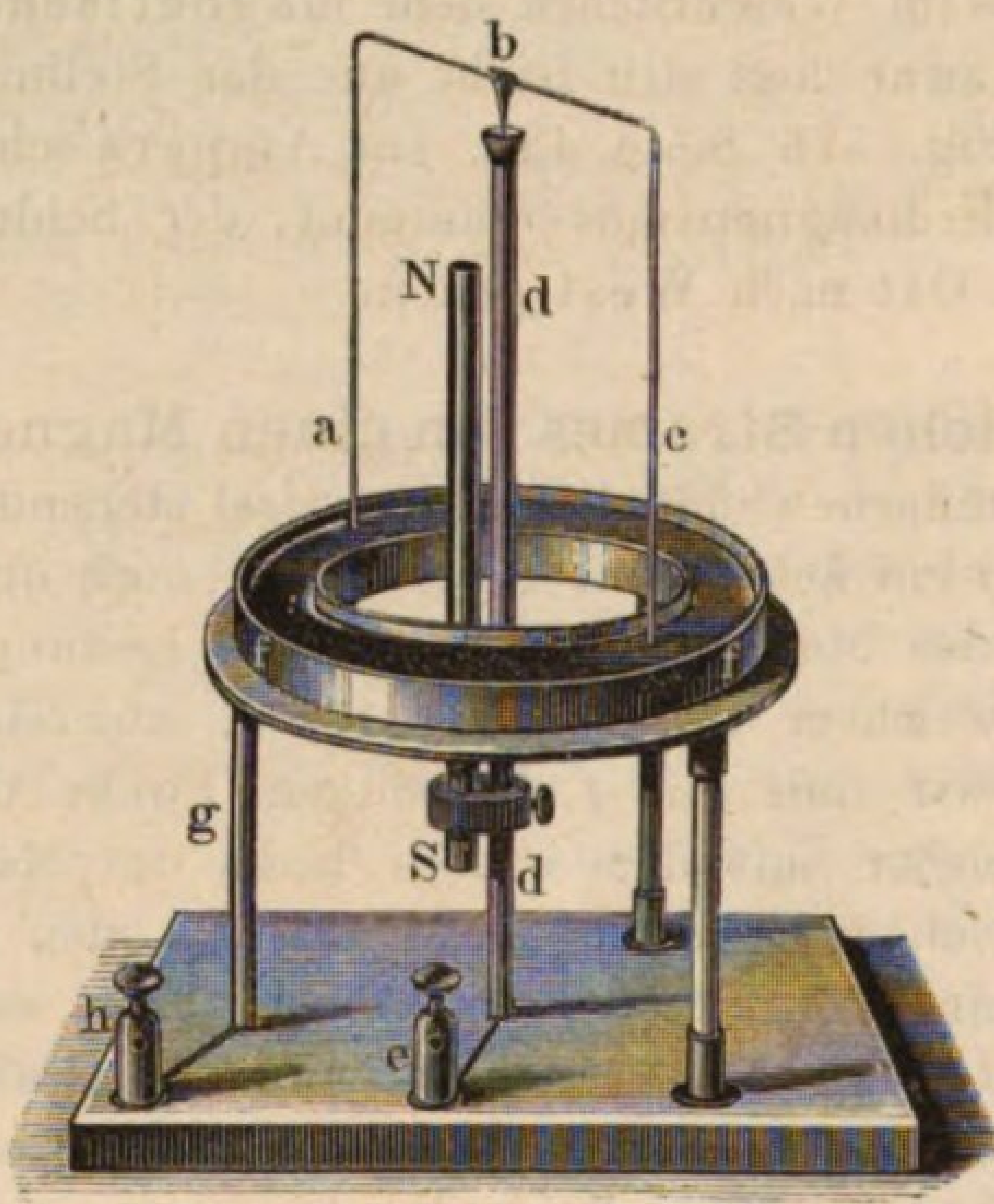
Die gleiche Wirkung übt nun der Magnetstrom eines jeden horizontalen Querschnitts des Magnets auf das über ihm befindliche Stück des Drahtes dg aus, während er den unterhalb seiner Ebene befindlichen Theil des Drahtes in entgegengesetzter Richtung zu drehen strebt. Der Draht wird aber doch in der zuerst bezeichneten Richtung, in der Richtung der Pfeile ab und bc, rotiren, denn die Summe der Kräfte, welche ihn in dieser Richtung zu drehen streben, ist über die entgegengesetzt wirkenden weitaus überwiegend, weil sich der Draht nicht bis zum unteren Ende des Magnets erstreckt, aber bedeutend über das obere Ende desselben hinausragt.

Bei umgekehrter Stromrichtung muss der Draht unter sonst gleichen Umständen in entgegengesetzter Richtung rotiren. Ebenso hat eine Umkehrung der Polarität des Magnets eine Umkehrung der Polarisationsrichtung zur Folge.

Fig. 414 a. f. S. stellt einen Apparat dar, mit welchem man die eben besprochene Rotationserscheinung zeigen kann. Eine Metallsäule dd, welche unten mit der Klemmschraube e verbunden ist, trägt oben ein stählernes Quecksilbernäpfchen, in welches mittelst einer Stahlspitze der kupferne Drahtbügel abc eingesetzt ist. Die unteren Enden dieses Drahtbügels

tauchen in eine Quecksilberrinne f, welche mit der Klemmschraube h leitend verbunden ist. Wird nun bei h der positive, bei e der negative Pol der Säule eingeschraubt, so geht der positive Strom in den Drahtarmen a und c in die Höhe, dann von beiden Seiten nach b und von da durch die Säule dd herab.

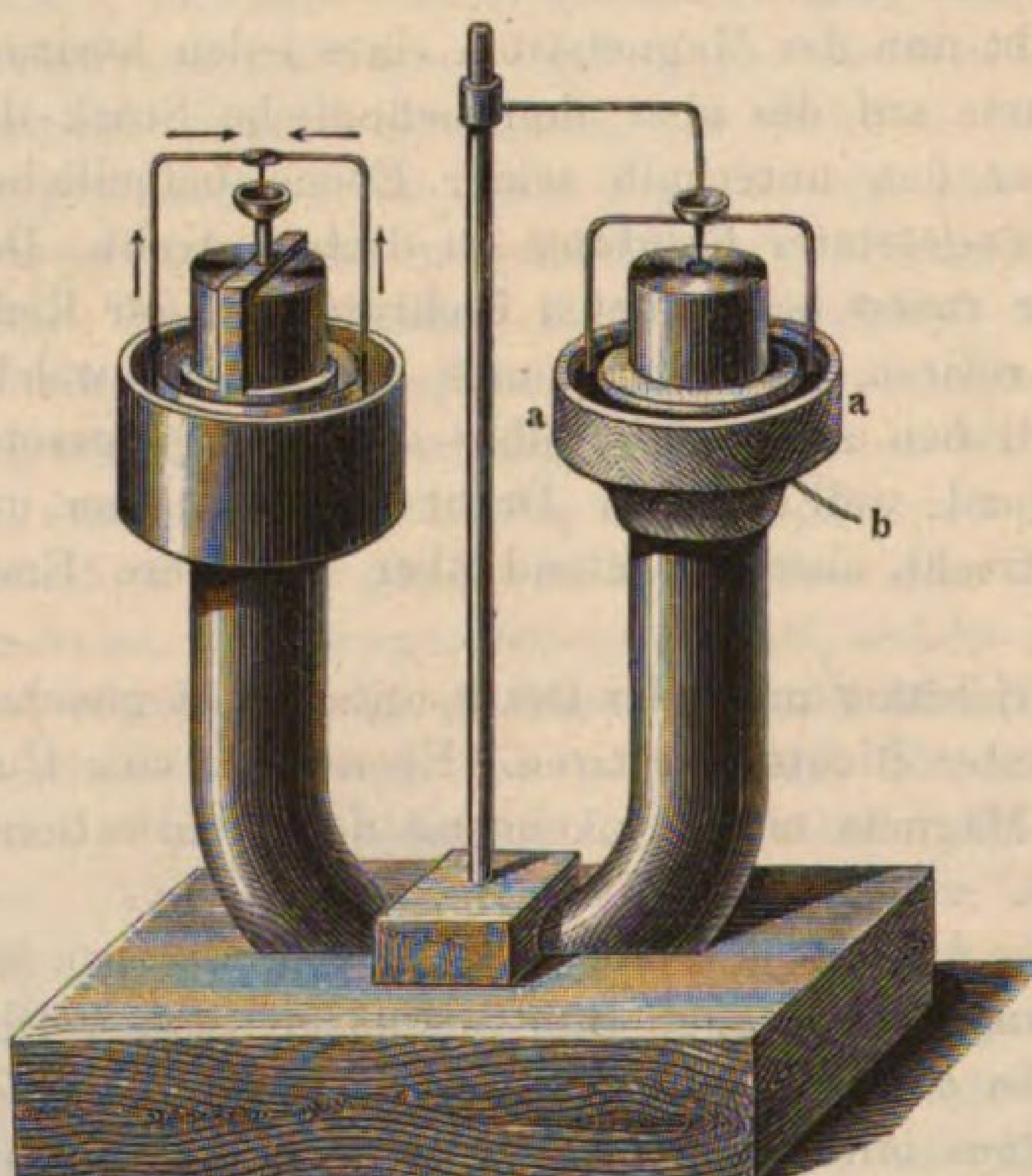
Fig. 414.



An der Säule dd ist eine Fassung angebracht, welche auf- und niedergeschoben werden und in beliebiger Höhe festgestellt werden kann; sie trägt den kräftigen Stahlmagnet NS, unter dessen Einfluss der durchströmte Leiter in Rotation geräth.

Fig. 415 zeigt zwei Abänderungen dieses Versuches. Eine Hülse aa von Holz, ganz ähnlich der in der vorigen Figur, und in gleicher Weise mit einer Rinne zur Aufnahme von Quecksilber versehen, ist auf einem Pol eines starken Hufeisenmagnets befestigt. In einer kleinen Vertiefung in der Mitte des Pols sitzt, von einer Stahlspitze getragen, ein Drahtbügel, dessen Enden in die Quecksilberrinne hinabhängen. In der Mitte ist dieser Drahtbügel mit einem Quecksilbernäpfchen versehen, in welches eine Drahtspitze eintaucht, die mit dem einen Pole des Rheomotors verbunden ist, während der von unten in das Quecksilber der Rinne hineinragende Draht b mit dem anderen Pole in leitender Verbindung steht.

Fig. 415.



Auf dem anderen Pole des Hufeisenmagnets, Fig. 415, ist eine von Faraday angegebene Rotationsrichtung angebracht, welche

selbst den Rheomotor bildet. Statt der hölzernen Rinne ist ein Gefäss von Zink über den Magnetpol geschoben, welches, durch zwei concentrische Cylinder- und eine Bodenfläche gebildet, mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt wird. An der inneren Wand des Zinkgefässes ist ein Zinkbügel befestigt, welcher auf der oberen Fläche des Magnetpoles aufsitzt. Auf der Mitte dieses Bügels steht ein Kupferstäbchen, welches oben mit einem Quecksilbernäpfchen endet; in dieses Quecksilbernäpfchen ist mittelst einer Stahlspitze ein Bügel von Kupferdraht eingesetzt, welcher unten einen Ring von dünnem Kupferblech trägt, der in das saure Wasser des Zinkgefässes hineinhängt. Es geht nun der positive Strom vom Zinkgefässe durch die saure Flüssigkeit zum Kupferstreifen, von diesem durch die Kupferdrähte erst in die Höhe, dann horizontal fort zum Quecksilbernäpfchen; es muss also die Rotation nach dem angeführten Gesetze eintreten.

In den beiden letztgenannten Fällen ist es jedoch nicht allein die Einwirkung des Magnets auf den im Drahte aufwärts gehenden Strom, welcher die Rotation bewirkt, sondern diese rührt zum Theil auch von der Einwirkung des Magnetpols auf den horizontalen Theil des beweglichen Stromleiters her.

Die Rotation galvanischer Ströme unter dem Einfluss von Magneten ist zuerst von Humphry Davy entdeckt worden, welcher 1821 die Rotation des galvanischen Flammenbogens unter dem Einfluss eines Magnetpoles betrachtete. Durch die Bewegung der erhitzten Luft wird der Lichtbogen bestimmt, stets eine nach oben gewölbte Biegung anzunehmen, wie auch Fig. 1 auf Tab. I. zeigt. Dieser Flammenbogen ist aber ein beweglicher Leiter, auf welchen der Erdmagnetismus eine richtende Kraft ausübt, und so kommt es, dass bei horizontal gegenüberstehenden Kohlenspitzen der Flammenbogen nie ganz vertical steht, sondern, je nach der Lage der Kohlenspitzen, bald nach der einen, bald nach der anderen Seite geneigt ist. Durch die Annäherung eines Magnetstabes kann man den Flammenbogen aus seiner durch den Erdmagnetismus bestimmten Stellung heraustreiben. Wird statt des einen Kohlenpoles ein Magnetpol angewendet, so dass der Flammenbogen sich zwischen Kohle und Stahl bildet, so rotirt der Flammenbogen um den magnetischen Stahlpol nach denselben Gesetzen, nach welchen überhaupt ein beweglicher Strom um einen festen Magnet rotirt.

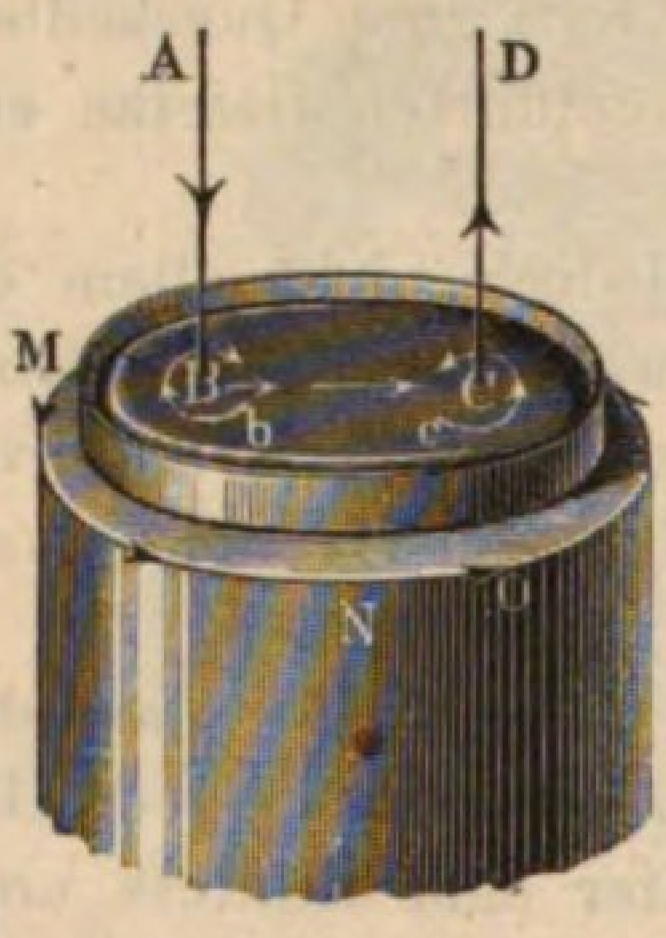
Faraday entdeckte in demselben Jahre die Rotation eines starren Stromleiters um einen Magnetpol und gab dadurch den Schlüssel zur Erklärung der Erscheinung, welche am Flammenbogen beobachtet worden war. Im Jahre 1823 zeigte Davy, dass auch ein flüssiger metallischer Leiter, Quecksilber oder geschmolzenes Zinn, unter gleichen Umständen wie ein starrer in elektromagnetische Drehung versetzt werden kann, eine Thatsache, welche späterhin auch bei nicht metallischen flüssigen Leitern nachgewiesen wurde.

So rasch dieser Kreis von Erscheinungen in experimenteller Hinsicht

durchforscht worden ist, so schnell hat er auch in theoretischer Beziehung seine Erledigung gefunden. Ampère, obwohl die continuirlichen Rotationen nicht voraussehend, hat sie sehr bald auf die von ihm entdeckten elektrodynamischen Gesetze zurückgeführt.

Davy stellte seine Versuche über die Rotation von Flüssigkeiten zuerst in der Art an, dass er in eine mit Quecksilber gefüllte Schale die beiden Poldrähte einer sehr kräftigen Volta'schen Batterie lothrecht hinabgehen liess, und nun von unten her einen Magnetpol näherte, wie Fig. 416 zeigt. — Das Quecksilber rotirte um die beiden Drähte in entgegengesetzter Richtung.

Fig. 416.



Hierauf leitete er die beiden Drähte von unten her, durch den Boden der Schale, und überzog dieselben so weit mit Siegellack, dass nur ihre zuvor abgeflachten und polirten Enden entblösst blieben und mit dem Quecksilber in Berührung kamen, von welchem sie nur etwa eine Linie hoch bedeckt wurden. Jetzt kam die Rotation des Quecksilbers auch ohne Magnet, nur nicht so stark, zum Vorschein, und über den beiden Drahtenden zeigte sich eine Hebung des Quecksilbers von 1 bis 2 Linien, es bildeten sich also zwei Kegel, von deren Gipfel das flüssige Metall fortwährend nach allen Seiten abfloss. Durch die Annäherung eines Magnetpoles von oben her konnten diese Kegel bis zum Spiegel des Quecksilbers abgeflacht, ja sogar eine Vertiefung hervorgebracht werden, während die Masse zugleich schneller herumwirbelte.

Nach Poggendorff's Ansicht entspringt die Hebung des Quecksilbers über den Enden der Poldrähte aus der Repulsion, welche, nach Ampère's Theorie, zwei in gerader Richtung auf einander folgende Theilchen desselben Stromes auf einander ausüben.

Die Depression des Quecksilbers, welche durch einen Magnetpol hervorgebracht wird, erklärt sich einfach durch die bei der rascheren Rotation kräftiger wirkende Centrifugalkraft.

Um diese Depression auch mit geringeren Mitteln hervorzubringen, verfuhr Poggendorff folgendermaassen: In ein Uhrglas oder Porcellanschälchen wird etwa eine Unze Quecksilber gegossen und das Gefäss auf eine vertical stehende Drahtrolle gesetzt, die einen Eisenkern umschliesst; für diese Drahtrolle kann man natürlich auch den einen Schenkel eines U-förmigen Elektromagnets in Anwendung bringen, dessen Pole nach oben stehen. — In das flüssige Metall werden nun zwei Drähte von Eisen oder Platin eingetaucht, der eine nahe am Rande, der andere in der Mitte der runden Masse, und zwar der letztere so, dass er etwa nur $^1/_2$ Linie in das Quecksilber eintaucht. Werden nun die erforderlichen Verbindungen gemacht, um den Strom einer galvanischen Säule durch die

Windungen der Magnetisirungsspirale und dann durch den einen der besprochenen Drähte in das Quecksilber ein-, durch den anderen Draht herauszuleiten, so tritt beim Schliessen der Kette sogleich eine lebhafte Rotation des Quecksilbers ein.

Im ersten Moment geschieht die Rotation um beide Drähte in entgegengesetzter Richtung, aber bald überwiegt die um den centralen Draht, wegen seiner vortheilhafteren Stellung, und nun hat man also nur eine einzige Rotationsrichtung. In Folge der durch diese Rotation erzeugten Centrifugalkraft senkt sich das Quecksilber in der Mitte, und wenn der centrale Draht nicht zu tief eingetaucht ist, kommt bald ein Moment, wo das Quecksilber sich von ihm abtrennt und dadurch eine Unterbrechung des Stromes bewirkt. Die Rotationsgeschwindigkeit des Quecksilbers nimmt nun allmälig ab, es steigt in der Mitte, bis es endlich wieder mit dem centralen Draht in Berührung kommt, wo dann die Rotation mit anfänglicher Geschwindigkeit von Neuem beginnt.

Fig. 417.



Die Rotation nicht metallischer flüssiger Leiter lässt sich am bequemsten in folgender Weise zeigen. Zwei concentrische Ringe von Kupferblech, deren grösserer ungefähr 5, deren kleinerer 1 Centimeter Durchmesser hat, Fig. 417, sind durch einen wohlgefirnissten eingekitteten Boden von Holz zu einem Gefässe verbunden, welches mit einer leitenden Flüssigkeit, etwa mit einer Lösung von Kupfervitriol, gefüllt wird. Setzt man dieses Gefäss auf den einen Pol eines kräftigen Elektromagnets, verbindet man dann die eine Kupferwand mit dem positiven, die andere mit dem negativen Pole eines constanten Bechers, so beginnt alsbald die elektromagnetische Rotation der Flüssigkeit.

Rotation eines beweglichen Magnets um einen festen 152
Strom. Wäre der Strom *dg*, Fig. 413, fest, der Magnet aber um *dg* drehbar, so würden dieselben Kräfte, welche im vorigen Falle den Strom um den Magnet drehten, nun den Magnet in Rotation versetzen. Der Apparat, Fig. 418 (a.f.S.) dient dazu, um diese Rotation zu bewerkstelligen. Der Metallstab *ab* endet oben mit einem Quecksilbernäpfchen *b*, während er unten mit der Klemmschraube *c* leitend verbunden ist. Von einem vertical über dem Quecksilbernäpfchen befindlichen Häkchen hängt der das Messingstückchen *d* tragende Faden herab, an welchem unten eine in das Quecksilber des Näpfchens *b* eintauchende Spitze befestigt ist, die aber nicht auf dem Boden des Näpfchens aufsitzen darf. An *d* ist ein horizontaler Draht *e* befestigt, dessen nach unten gebogenes freie Ende in das Quecksilber der Rinne *f* eintaucht, welches durch den Draht *h* mit der Klemmschraube *g* in leitender Verbindung steht. Ist nun in *c* der positive, in *g* der negative Poldraht des Elektromotors eingeschraubt, so steigt der positive Strom im Stäbchen *ab* auf, gelangt von *d* durch den

Draht e in das Quecksilber der Rinne f, um von da zur Klemmschraube g zu gehen.

An dem Messingstück d sind nun aber ferner zwei diametral gegenüberstehende horizontale Arme angebracht, welche mit Hülsen zur Aufnahme der Stahlmagnete ns und $n' s'$ dienen. Wenn beide Magnete gleich gerichtet, also zwei gleichnamige Pole nach oben gekehrt sind, so rotirt das an dem Faden aufgehängte System um denselben, weil die Wirkung, welche der Strom in ab auf den einen Magnetstab ausübt, durch die Wirkung des Stromes auf den anderen Magnetstab unterstützt wird. Kehrt aber der eine Magnetstab seinen Nordpol, der andere seinen Südpol nach Oben, so ist keine Rotation möglich, weil der Strom jeden der beiden Magnetstäbe nach entgegengesetzter Richtung zu bewegen strebt.

Die Richtung der Rotation hängt davon ab, ob die Nordpole oder die Südpole der Magnete nach unten gekehrt sind, und in welcher Richtung der Strom circulirt. Nehmen wir an, der positive Strom stiege in ab in die Höhe, so müsste in diesem Stäbchen die Ampère'sche Figur aufrecht stehen. Wenn nun der Südpol der beiden Magnete nach unten gekehrt ist, so wird, wenn die Figur nach einem Magnetstabe hinsieht, die Rotation nach ihrer rechten Seite hin gehen, die Magnete rotiren also in der Richtung wie der Zeiger einer Uhr.

Fig. 418.

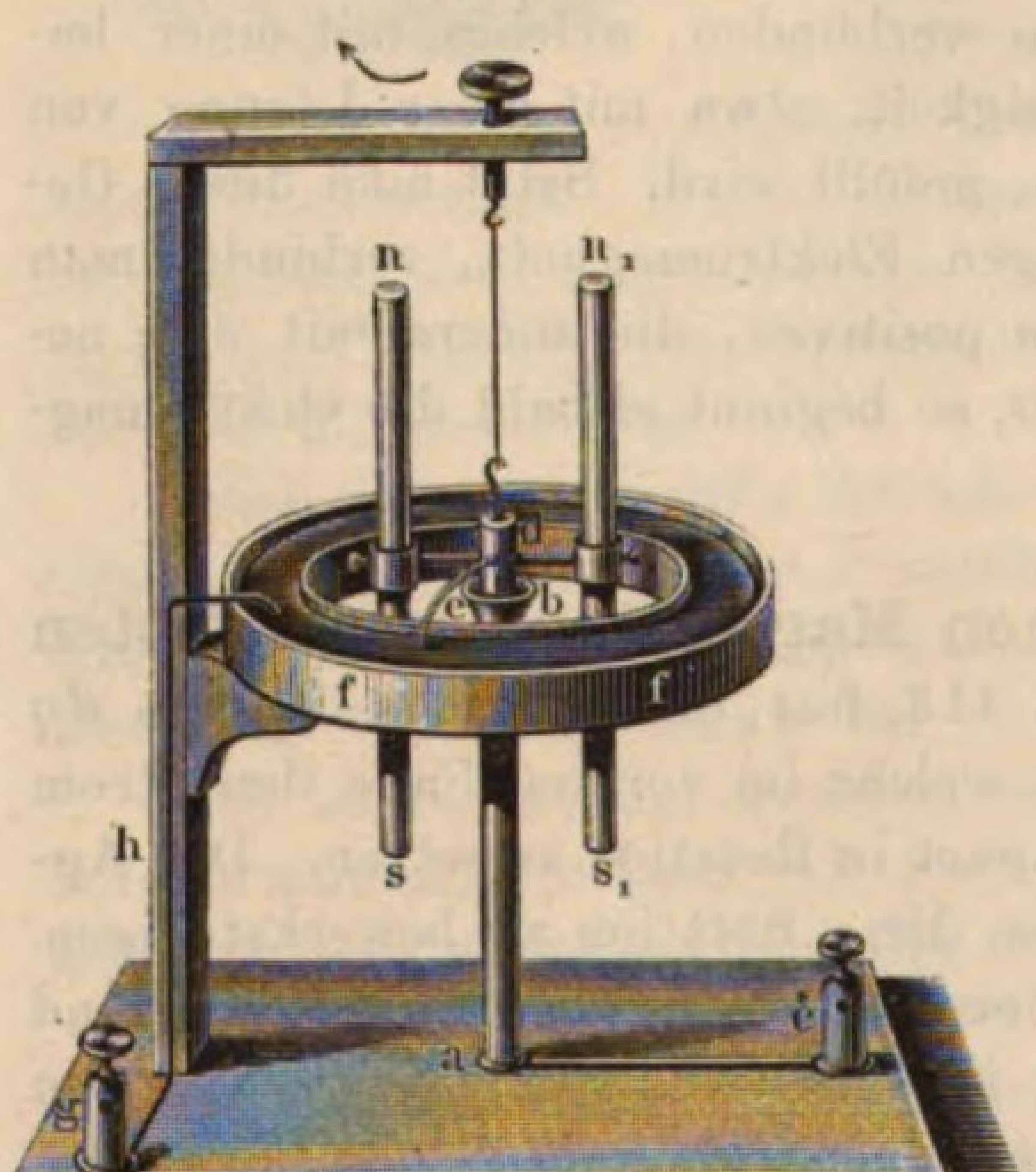
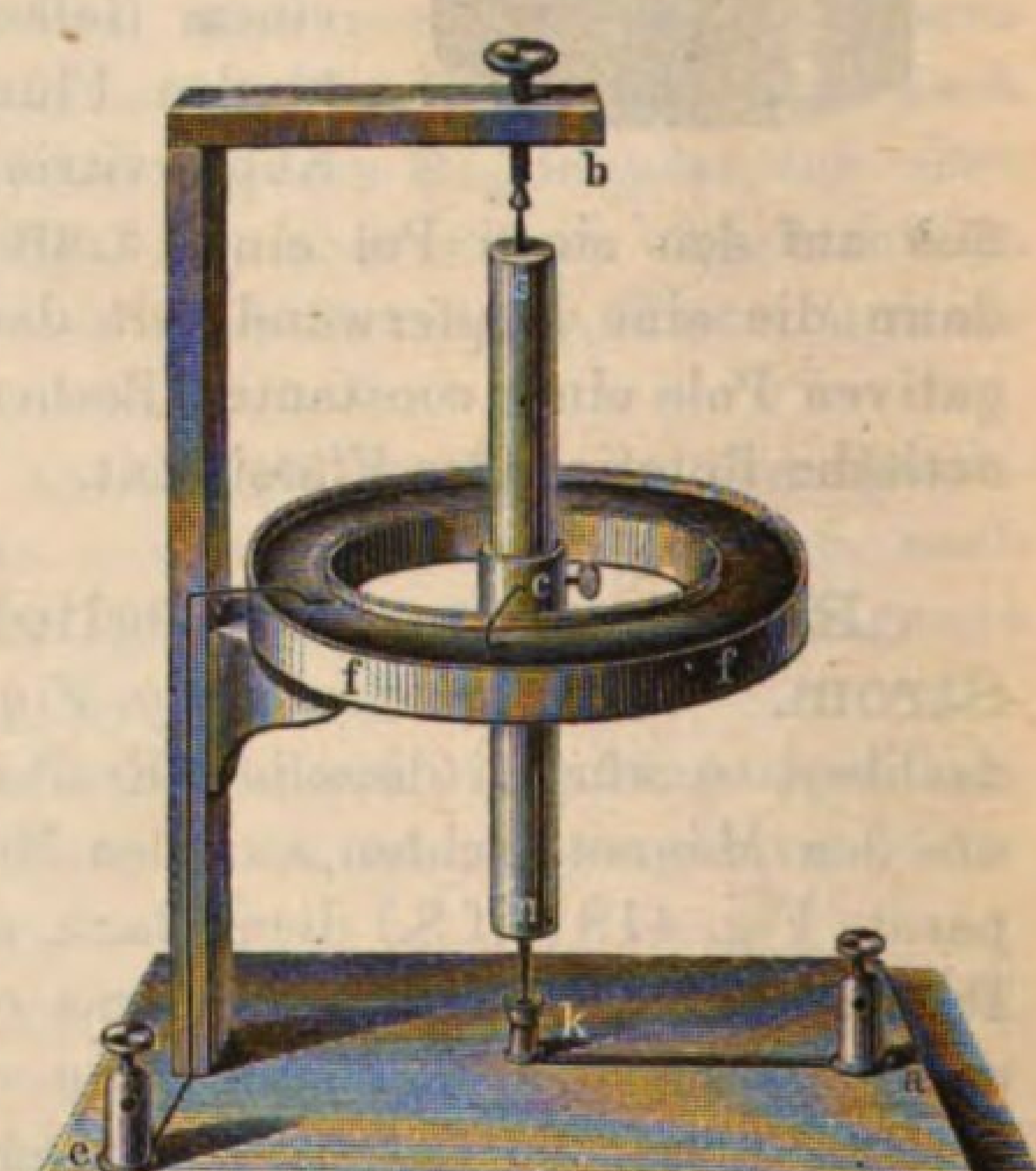


Fig. 419



Wenn man den Strom durch die eine Hälfte der Axe eines Magnets selbst auf- oder niederströmen lässt, so rotirt er um seine eigene Axe, wenn seine Aufhängung oder seine Aufstellung eine solche Rotation erlaubt.

Die Richtung der Drehung findet ganz in der Weise statt, wie es das Ampère'sche Gesetz verlangt. Ist nämlich das Nordende oben, so

dreht sich dasselbe immer nach der linken Seite der in den Strom eingeschaltet gedachten menschlichen Figur. Ist das Südende oben, so geht die Bewegung in umgekehrter Richtung vor sich.

Um einen Magnet um seine eigene Axe rotiren zu machen, kann man den Apparat, Fig. 419, anwenden, zu dessen Verständniss wohl wenige Bemerkungen hinreichen. Der Magnetstab *ns* ist oben und unten mit Stahlspitzen versehen, welche so gefasst sind, dass er leicht um seine verticale Axe drehbar ist. Die untere Spitze taucht in ein Quecksilbernäpfchen ein, durch welches eine gut leitende Verbindung zwischen dem unteren Ende des Magnetstabes und der Klemmschraube *a* hergestellt wird. In seiner Mitte trägt der Magnetstab eine Hülse *c*, an welcher ein zur Quecksilberrinne *f* führender Kupferdraht befestigt ist. Der Strom kann also nur die untere Hälfte des Magnetstabes durchlaufen.

Fig. 420.

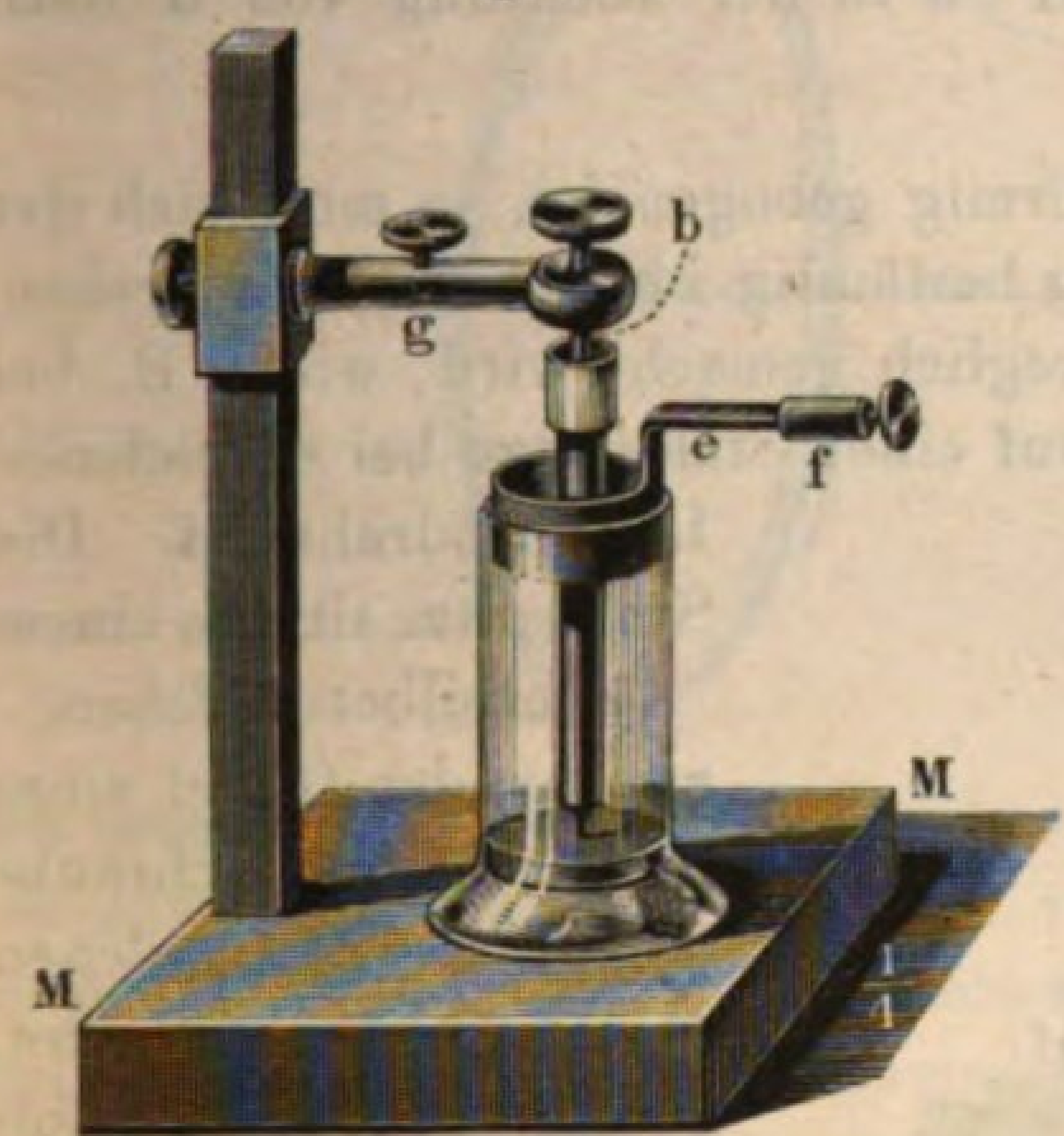


Fig. 420 stellt einen anderen zur Anstellung dieses Versuches sehr zweckmässigen Apparat dar. Auf dem Brettchen *MM* steht ein Cylinderglas, auf dessen Boden ein mit einer Stahlspitze versehenes Brettchen aufgekittet ist. Auf diese Spitze wird der eine Pol eines cylindrischen Magnets mit der kleinen Vertiefung gesetzt, die er noch vom Abdrehen her hat. Auf dem oberen Pole ist, wie man Fig. 421 deutlich sieht, eine Hülse *aa* von Holz oder Elfenbein aufgeschoben, welche ein Quecksilbernäpfchen bildet. Eine stählerne Schraube *b*, welche unten mit einer Spitze endet, die jener im Glase vertical gegenübersteht, wird nun soweit gegen das obere Kernloch des runden Magnets herunter geschraubt, dass derselbe zwischen beiden Spitzen noch etwas Spielraum hat, aber dieselben noch nicht verlassen kann.

Fig. 421.

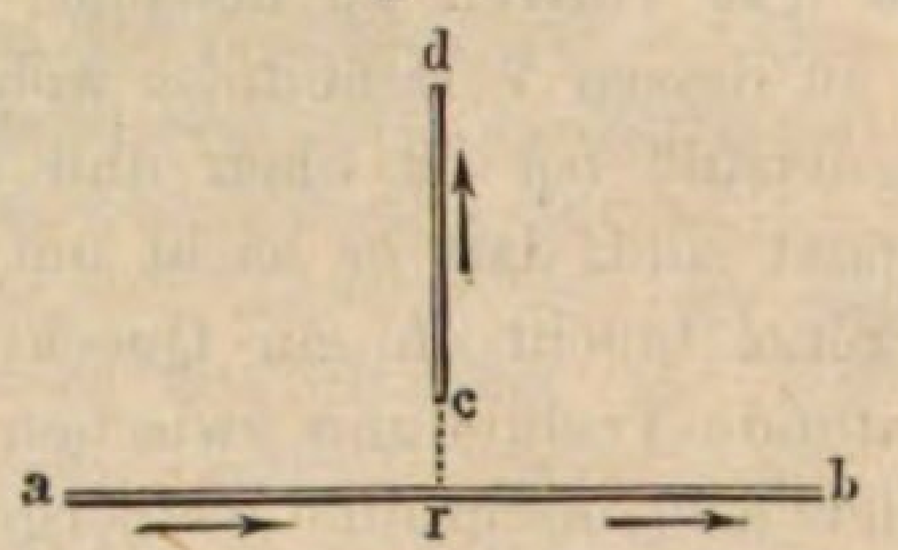


Ein Kupferstreifen *e* trägt einen nicht ganz geschlossenen, durch Federung gegen die Wände des Glases drückenden kupfernen amalgamirten Ring. In die Hülse *aa*, Fig. 421, giesst man nun etwas Quecksilber und in das Glas so viel, dass der untere Rand des Kupferringes in Quecksilber eingetaucht ist. Der Magnet kann sich nun zwischen den beiden Spitzen ungemein leicht drehen, weil sein Gewicht durch den Auftrieb des Quecksilbers getragen wird.

Wird der eine Poldraht eines constanten Bechers bei *f*, der andere bei *g* eingeschraubt, so beginnt die Rotation nach den bekannten Gesetzen.

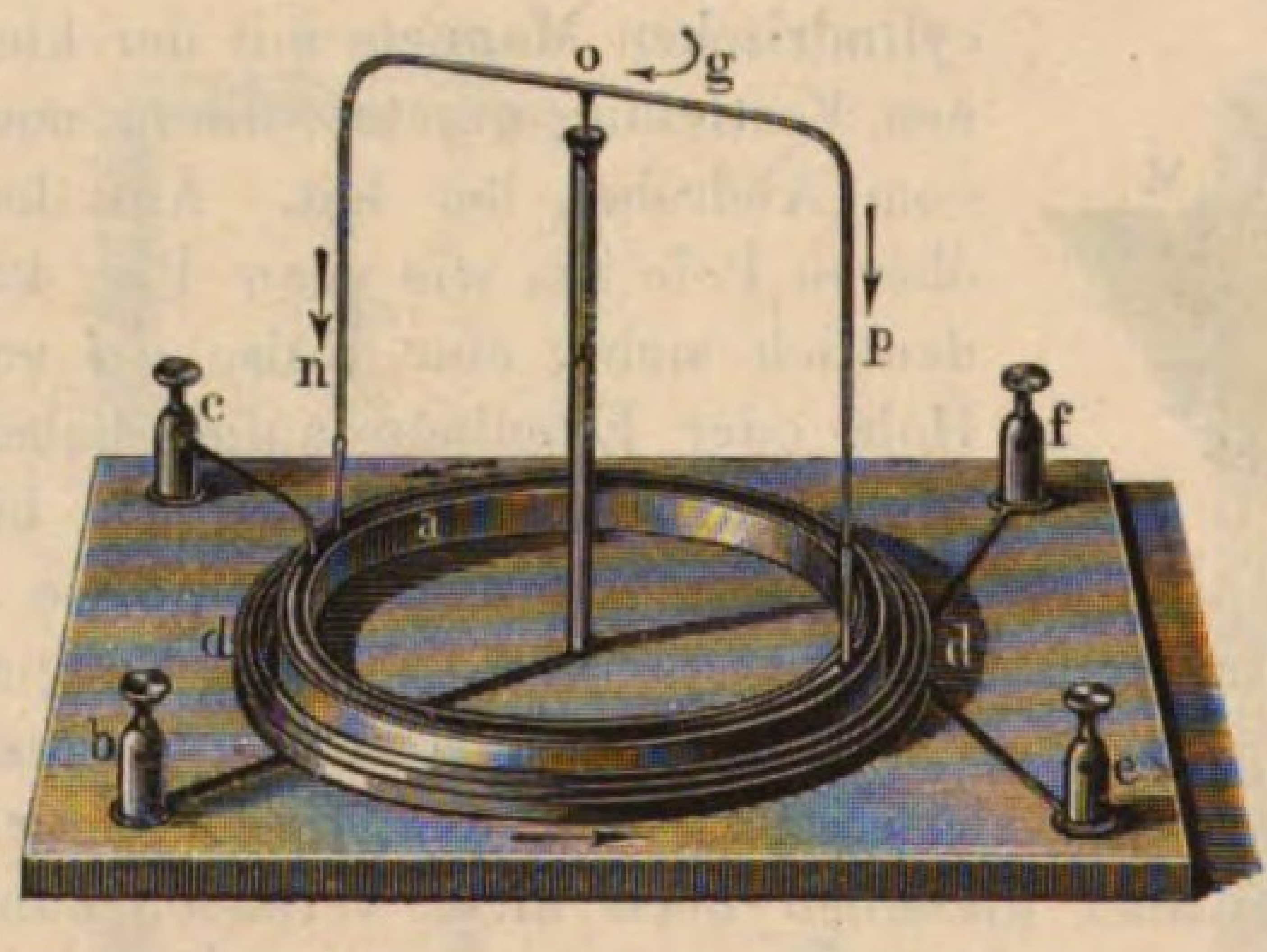
153 **Rotation eines Stromes unter dem Einfluss eines anderen.** Denken wir uns einen festen unbegrenzten Strom *ab* und einen Strom *cd*, Fig. 422, welcher von dem festen Strom *ab* wegströmt, und welcher parallel mit sich selbst verschiebbar ist, so wird, wenn der Kreuzungspunkt in *r* ist, zwischen den Theilen *cd* und *rb* Anziehung, zwischen *ar* und *cd* aber Abstossung stattfinden. Jede dieser beiden Kräfte lässt sich in zwei andere zerlegen, von denen die eine parallel mit *ab*, die andere rechtwinklig auf *ab* ist. Da *cd* nur in der Richtung von *ab* verschiebbar ist, so können die mit *cd* parallelen Composanten keine Wirkung hervorbringen; die mit *ab* parallelen aber vereinigen sich zu einer Resultirenden, welche den Strom *cd* in der Richtung von *a* nach *b* forttreibt.

Fig. 422.



Wenn der feste Strom *ab* kreisförmig gebogen ist, so muss sich der Strom *cd* in Folge derselben Wirkung beständig im Kreise herumdrehen, wenn er in der geeigneten Weise beweglich gemacht wird, wie z. B. bei dem Apparat Fig. 423, wo *nop* der auf einer Stahlspitze bei *o* spielende Leitungsdraht ist. Die Stahlspitze sitzt in einem Quecksilbernäpfchen, welches den Gipfel eines mit der Klemmschraube *b* leitend verbundenen Metallsäulchens bildet. Der in dem Metallsäulchen aufsteigende Strom geht in den verticalen Armen *p* und *n* des um *o* drehbaren Leiters herab, deren Enden in die kreisförmige Quecksilberrinne *a* eintauchen. Das Quecksilber dieser Rinne ist mit der Klemmschraube *c* leitend verbunden. Die Quecksilberrinne wird endlich mit einer flachen Magnetisirungsspirale *dd* umgeben, welche entweder durch mehrere über einander gewickelte Lagen von dickem Kupferdraht oder in der durch Fig. 369 Seite 342 erläuterten Weise durch einen Kupferblechstreifen gebildet ist. Die Enden dieser Spirale sind mit den Klemmschrauben *e* und *f* leitend verbunden.

Fig. 423.



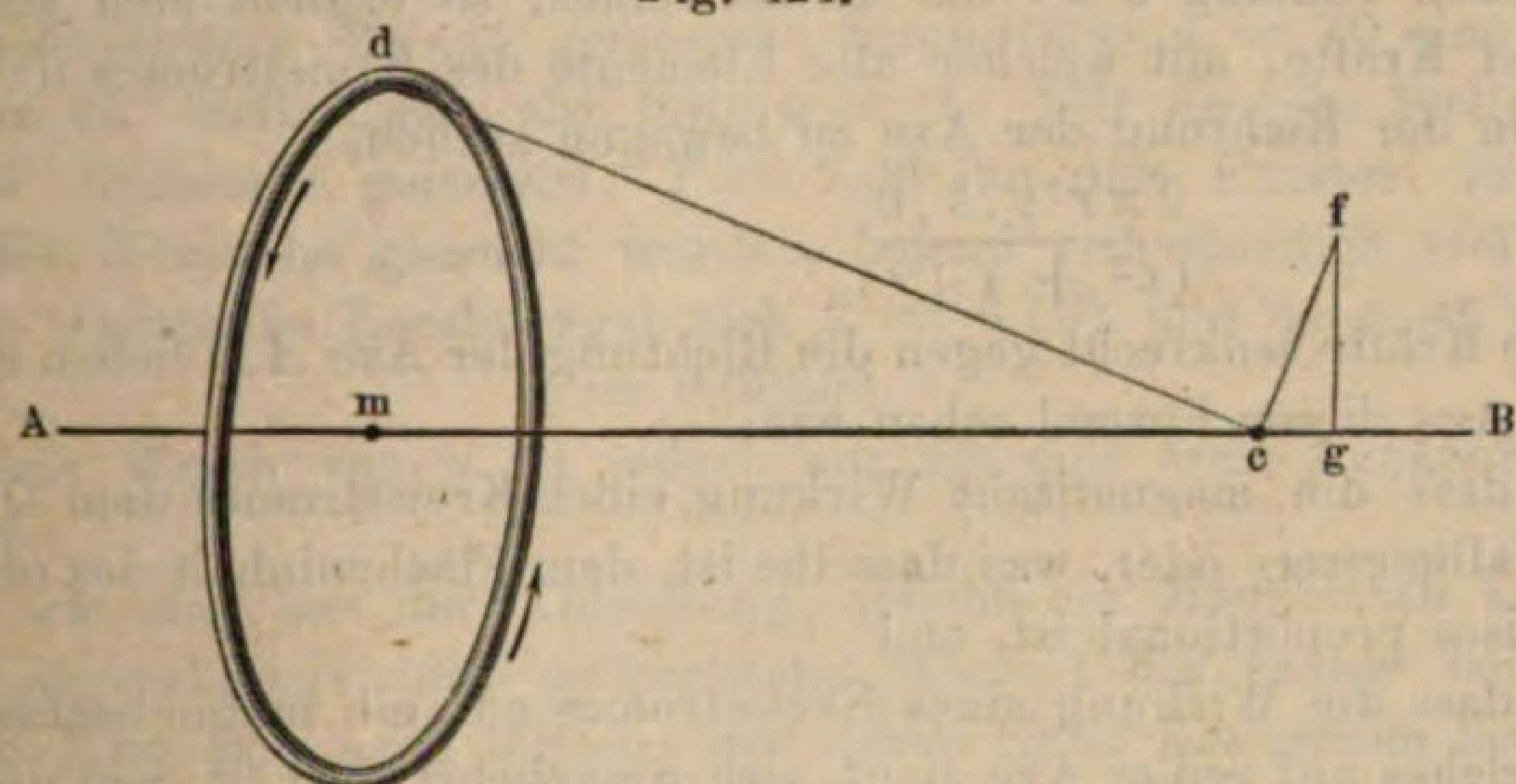
Um den Apparat in Gang zu setzen, kann man die beiden Poldrähte einer Säule bei *b* und *c*, die beiden Poldrähte einer zweiten Säule aber in *e* und *f* einschrauben, oder man kann die beiden Pole der Säule bei *b*

und e einschrauben und dann die Klemmschrauben c und f durch einen Kupferdraht verbinden.

So wie man früher die elektrischen Anziehungen und Abstossungen zu einer Menge von elektrischen Spielereien benutzte, so hat man jetzt auch die elektro-magnetischen Rotationsphänomene auf die mannigfaltigste Weise variirt. Es mag hier genügen, die Grundphänomene in den einfachsten Formen kennen gelernt zu haben.

Magnetisches Moment eines Kreisstromes. Fig. 424 stellt 154
die perspectivische Ansicht eines kreisförmigen Stromes dar, dessen Ebene

Fig. 424.



mit dem magnetischen Meridian zusammenfällt, so also, dass die durch den Mittelpunkt des Kreisstromes rechtwinklig zu seiner Ebene gelegte Gerade AB auf dem magnetischen Meridian rechtwinklig steht. Wir wollen nun die Wirkung untersuchen, welche der Kreisstrom auf irgend ein magnetisches Element ausübt, welches sich in einem Punkte der Linie AB, etwa in c, befindet.

Wenn der Kreisstrom in der durch die Pfeile bezeichneten Richtung circulirt, so hat ein elementares Theilchen des Stromes, etwa das Theilchen bei d, ein Bestreben, ein nordmagnetisches Element in c nach der Richtung cf zu bewegen; die Grösse dieser bewegenden Kraft lässt sich durch

$$\frac{ns\gamma\varphi}{l^2}$$

darstellen, wenn s die Stärke des Kreisstromes, γ die Intensität des Magnetismus im magnetischen Theilchen c, φ die Länge des elementaren Bogenstücks bei d, l die Entfernung cd und n einen constanten Factor bezeichnet, der alsbald näher bestimmt werden soll.

Setzen wir den Halbmesser des Kreises gleich r, die Entfernung $mc = x$, so ist $l^2 = x^2 + r^2$ und der obige Werth für die in der Richtung cf auf c wirkende Kraft wird

$$\frac{ns\gamma\varphi}{x^2+r^2}.$$

Zerlegt man die Kraft cf nach der Richtung der Ringaxe und rechtwinklig auf dieselbe, so ist es leicht, den Werth der Composante cg zu bestimmen, denn es verhält sich $cf : cg = cd : dm$, oder $cf : cg = l : r$, mithin ist

$$cg = \frac{cf.r}{l} = \frac{cf.r}{\sqrt{x^2 + r^2}}$$

oder endlich

$$cg = \frac{ns\gamma\varphi r}{(x^2 + r^2)^{3/2}}.$$

Setzen wir nun in diesen Werth von cg für das Bogenelement φ den ganzen Umfang $2\pi r$ des Kreisstromes, so ergiebt sich als Resultante der Kräfte, mit welchen alle Elemente des Kreisstromes das Theilchen c in der Richtung der Axe zu bewegen suchen,

$$\frac{2\pi r^2\gamma.s.n}{(x^2 + r^2)^{3/2}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

Die Kräfte senkrecht gegen die Richtung der Axe AB heben sich auf.

Aus dieser Formel sehen wir:

1) dass die magnetische Wirkung eines Kreisstromes dem Quadrate seines Halbmessers oder, was dasselbe ist, dem Flächeninhalt des umströmten Kreises proportional ist, und

2) dass die Wirkung eines Kreisstromes auf ein magnetisches Theilchen, welches auf seiner Axe liegt, sich umgekehrt verhält, wie die dritte Potenz der Entfernung $\sqrt{x^2 + r^2}$ des magnetischen Theilchens von der Peripherie des Kreisstromes, dass also die magnetische Wirkung eines Kreisstromes in die Ferne denselben Gesetzen folgt, wie die Totalwirkung eines Magnets.

Die Formel 1) kann auch die Kraft ausdrücken, mit welcher der Kreisstrom eine in c befindliche kleine Magnetnadel in die Axe AB zu drehen strebt. Die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus auf die Nadel wirkt, um sie in den magnetischen Meridian zurückzuführen, ist $T\gamma$. Der Quotient dieser beiden Kräfte muss aber die Tangente des Ablenkungswinkels geben, es ist also

$$\frac{2\pi r^2 ns}{T(x^2 + r^2)^{3/2}} = tang\ u.$$

Nun gilt aber diese Formel, in welchem Punkte der Axe AB sich auch die Nadel befinden mag, wenn ihre Länge nur klein genug ist gegen ihre Entfernung von der Peripherie des Kreisstromes. Für den Fall nun, dass die Nadel in dem Mittelpunkte des Kreisstromes liegt, ist $x = 0$ und man hat alsdann

$$\frac{2\pi r^2 ns}{Tr^3} = tang\ u \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

oder

$$\frac{2\pi ns}{Tr} = tang\ u \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3)$$

das heisst, die Tangente des Ablenkungswinkels, welchen ein und derselbe Strom in Tangentenbussolen von verschiedenem Ringdurchmesser hervorbringt, ist unter übrigens gleichen Umständen dem Halbmesser des Ringes umgekehrt proportional, wobei jedoch immer vorausgesetzt ist, dass die Länge der Nadel sehr klein ist gegen den Durchmesser des Ringes.

Aus Gleichung 3) folgt

$$n = \frac{Tr\,tang\,u}{2\pi s}.$$

Bei einer in dem physikalischen Auditorium zu Freiburg angestellten Versuchsreihe ergab eine Tangentenbussole von $0{,}19^{m}$ Radius für die nach chemischem Maass gemessene Stromstärke $s = 70$ eine Ablenkung von 45^0 (Seite 234), also $tang\,u = 1$. Für dieselbe Stelle ergab sich nach Grammen gemessen, $T = 7{,}03$ (an dem Fenster, in dessen Nähe diese Versuche gemacht wurden, befand sich ziemlich viel Eisen. In einem eisenfreien Locale ergab sich $T = 6{,}19$), und demnach ist

$$n = 0{,}00304.$$

Dieser Werth von n ist jedoch nur als eine erste Annäherung zu betrachten.

So wie man aus der Ablenkung, welche ein Magnetstab an einer Bussole hervorbringt, das magnetische Moment des Stabes berechnen kann, so lässt sich auch mittelst der durch einen Kreisstrom hervorgebrachten Ablenkung das magnetische Moment desselben ermitteln.

Wenn man einen Magnetstab in eine solche Lage gegen eine Magnetnadel bringt, wie Fig. 58 auf Seite 56 zeigt, so ist das reducirte Drehungsmoment des Stabes (S. 62).

$$\frac{M}{T} = r^3\,tang\,v,$$

woraus sich für das magnetische Moment des Stabes der Werth

$$M = Tr^3\,tang\,v$$

ergiebt. Bringt man aber denselben Magneten in die Fig. 57 dargestellte Lage gegen die Nadel, so erhält man eine solche Ablenkung u der Nadel, dass bei gleicher Entfernung die Tangente des Ablenkungswinkels u doppelt so gross ist, als die Tangente des in der ersten Lage beobachteten Ablenkungswinkels v. Hat man also bei der in Fig. 57 dargestellten Lage die Ablenkungsversuche gemacht, so ist

$$M = \frac{Tr^3\,tang\,u}{2}.$$

Die mit der Tangentenbussole gemachten Ablenkungsversuche entsprechen der Lage Fig. 57, man kann also auch das magnetische Moment G für einen solchen Strom auf dieselbe Weise bestimmen, wie den Werth von M für den Magnetstab; es ist nämlich

$$G = \frac{Tr^3\,tang\,u}{2}.$$

Nach Gleichung 2) ist aber

$$\frac{Tr^3 tang\, u}{2} = \pi r^2 n s,$$

also auch

$$G = \pi r^2 n s \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 4)$$

Die Kraft D, mit welcher der Erdmagnetismus den Kreisstrom zu drehen strebt, wenn seine Ebene mit dem magnetischen Meridian zusammenfällt, ist demnach

$$D = GT = \pi r^2 n s T \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 5)$$

und wenn man für n und T ihre obigen Zahlenwerthe und $\pi = 3{,}14$ setzt

$$D = GT = 0{,}00964 \,.\, 7{,}03 \,.\, r^2 s = 0{,}0671 . r^2 s.$$

Setzt man für r den Halbmesser des Kreisstromes in Metern ausgedrückt, für s die Stromstärke nach chemischem Maass, so stellt dieser Werth von D, in Grammen ausgedrückt, die an einem Hebelarm von 1 Centimeter angreifende Kraft dar, mit welcher der Erdmagnetismus den Kreisstrom zu drehen strebt.

Es habe z. B. eine Drahtrolle von der Form *a* Fig. 406, 200 Windungen, deren Radius im Mittel 0,1 Meter ist und in welcher ein Strom von der Stärke 10 kreist, so ist die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus auf jede einzelne Windung wirkt, 0,00671, und die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus die ganze Drahtrolle zu drehen strebt, wenn sie sich im magnetischen Meridian befindet, gleich dem an einem Hebelarm von 1 Centimeter angebrachten Druck von 1,342 Grammen.

Man sieht daraus, wie gering die Kraft ist, mit welcher der Erdmagnetismus beweglich aufgehängte Kreisströme richtet.

155 Messung galvanischer Ströme nach absolutem Maass.

Wir haben bisher die Stromstärke stets nach einer willkürlich gewählten Einheit gemessen, die wir als chemisches Maass bezeichnet haben. Wir können die Stromstärke aber auch ohne Einführung einer neuen willkürlichen Einheit nach absolutem Maass bestimmen, wenn wir von den nach absolutem magnetischen Maass gemessenen magnetischen Wirkungen des Stromes ausgehen.

Aus der Ablenkung u der Magnetnadel, welche der durch eine Tangentenbussole geleitete Strom hervorbringt, ergiebt sich ein nach absolutem Maass gemessener Werth der Stromstärke s, wenn man in Gleichung 3) des vorigen Paragraphen $n = 1$ setzt; es ergiebt sich alsdann

$$s = \frac{Tr}{2\pi} tang\, u \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 6)$$

Oder wenn die Tangentenbussole durch z kreisförmige Drahtwindungen vom Halbmesser r gebildet ist

$$s = \frac{T . r}{2\pi} \cdot \frac{tang\, u}{z} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 7)$$

Das nach absolutem Maass gemessene Drehungsmoment D aber, mit welchem der Erdmagnetismus auf den Kreisstrom wirkt, wenn derselbe in der Ebene des magnetischen Meridians steht, ergiebt sich aus Gleichung 5) (des vorigen Paragraphen), wenn man hier gleichfalls $n = 1$ und für T und s ihre nach absolutem Maass gemessenen Werthe setzt, also

$$D = \pi r^2 s T \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 8)$$

Setzen wir in dieser Gleichung $s = 1$ und $\pi r^2 = 1$, so kommt

$$D = T.$$

Wenn also ein Strom von der Stärke 1 eine Kreisfläche umströmt, deren Flächeninhalt gleich 1 ist (1 Quadratmillimeter), so ist das Drehungsmoment, mit welchem der Erdmagnetismus diesen kleinen Kreisstrom zu drehen strebt, wenn die Ebene desselben mit dem magnetischen Meridian zusammenfällt, gleich T, also gerade eben so gross wie das Drehungsmoment, welches der Erdmagnetismus auf ein kleines, rechtwinklig auf der Ebene des magnetischen Meridians stehendes Magnetstäbchen ausübt, wenn in demselben die Einheit des freien Magnetismus entwickelt ist.

Daraus folgt aber ferner: Die Einheit der nach absolutem Maass gemessenen Stromstärke ist ein Strom, welcher die Flächeneinheit umkreisend in die Ferne eben so starke magnetische Wirkungen hervorbringt, wie ein kleines Magnetstäbchen, in welchem die Einheit des freien Magnetismus (nach absolutem Maass gemessen) entwickelt ist.

Es bleibt uns jetzt noch übrig, das numerische Grössenverhältniss der beiden Einheiten zu vergleichen, nach denen man die Stromstärke misst, also zu ermitteln, wie sich die Einheit der Stromstärke nach chemischem Maass verhält zur Einheit der Stromstärke nach absolutem Maass.

Die Stärke eines Stromes, welche die auf Seite 455 besprochene Tangentenbussole umkreisend eine Ablenkung von 45^0 hervorbringt, ist, wie wir gesehen haben, nach chemischem Maass gleich 70.

Um die Stärke desselben Stromes nach absolutem Maass zu erhalten, haben wir in Gleichung 6) zunächst $\tan u = 1$ und $r = 190$ zu setzen.

Nach Grammen gemessen ist, wie wir bereits auf Seite 455 gesehen haben, $T = 7{,}03$ und daraus folgt, dass nach absolutem Maass gemessen $T = 2{,}219$ ist. Danach ergiebt sich aus Gleichung 6)

$$s = \frac{2{,}219 \cdot 190}{6{,}28} = 68{,}72,$$

mithin haben wir

$$70^{\text{ch. M.}} = 68{,}72^{\text{abs. M.}}$$
$$1^{\text{ch. M.}} = 0{,}9817^{\text{abs. M.}}$$

Es ist aber bereits oben schon bemerkt worden, dass die Messungen, aus welchen der obige Werth von T abgeleitet wurde, nicht auf grosse Genauigkeit Anspruch machen können, da sie überhaupt nur angestellt

wurden um die Methode zu erläutern, und nicht um genaue Resultate zu erzielen. Deshalb kann denn auch das oben gegebene Verhältniss zwischen chemischem und absolutem Maass der Stromstärke nur ein angenähert richtiges sein. Aus genaueren Versuchen bestimmte Weber

$$1^{\text{ch. M.}} = 0{,}9534^{\text{abs. M.}}$$

Und als Mittel aus zuverlässigen Bestimmungen mehrerer anderer Physiker kann man annehmen

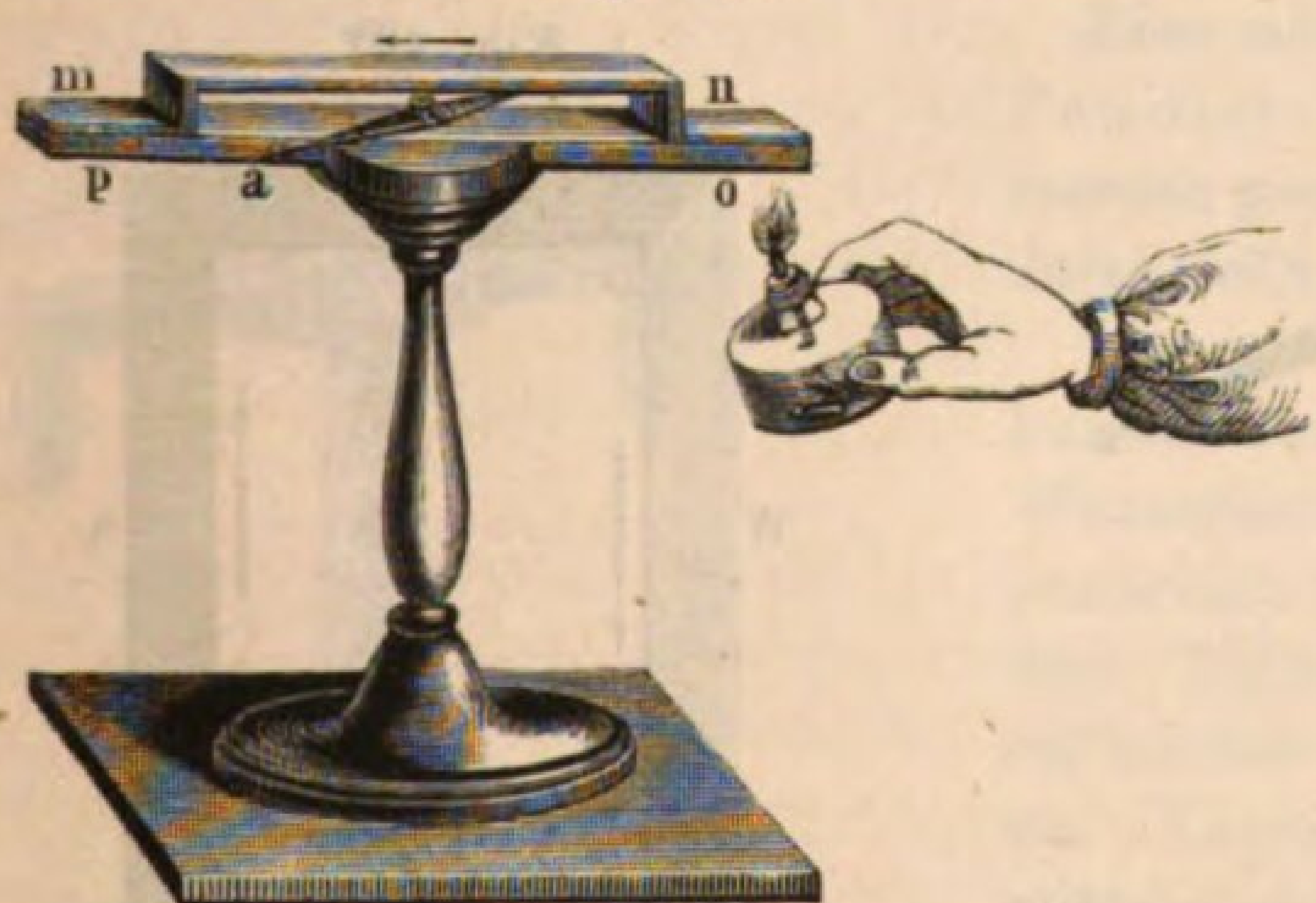
$$1^{\text{ch. M.}} = 0{,}96^{\text{abs. M.}}.$$

Fünftes Capitel.

Thermo-elektrische Ströme.

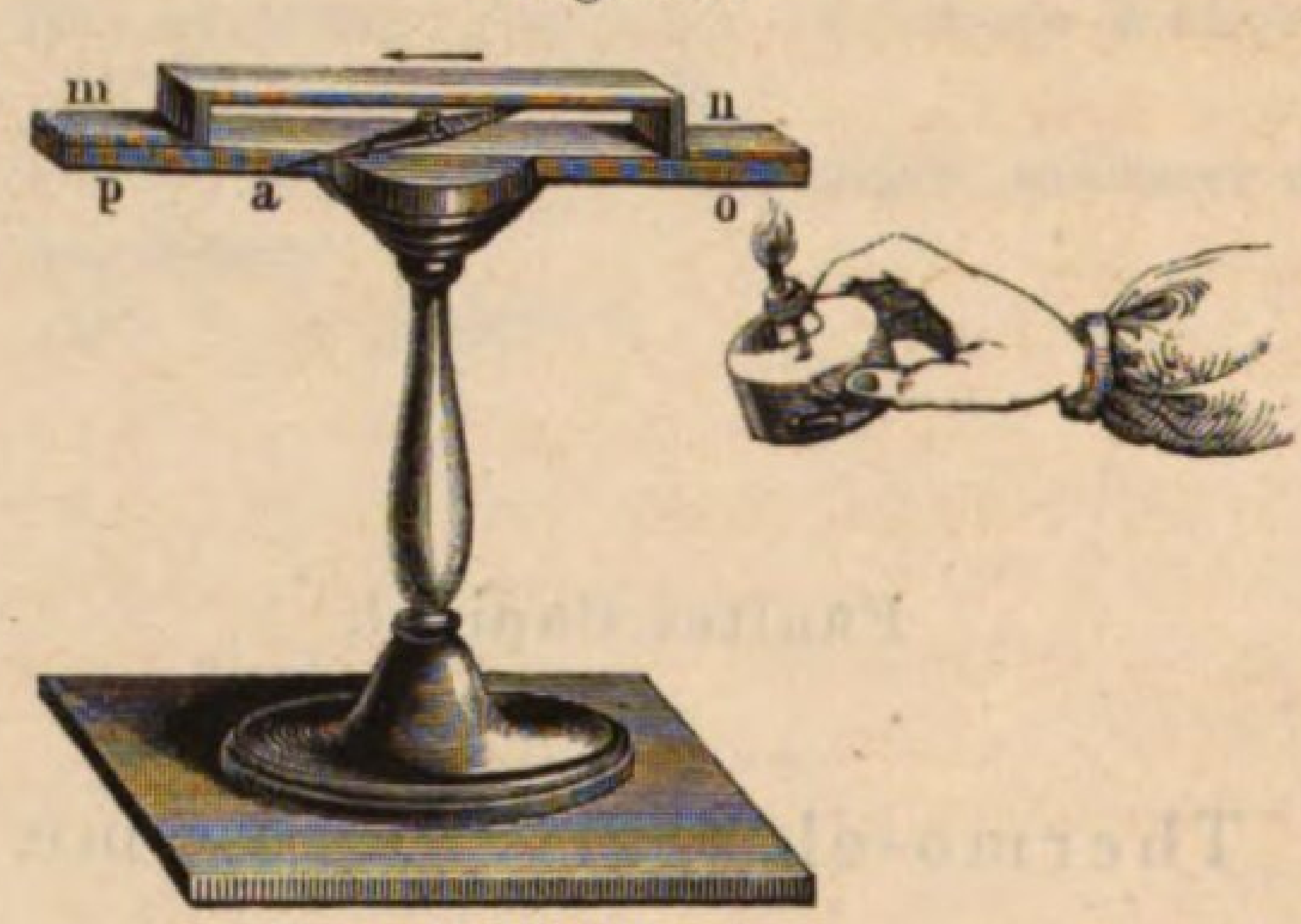
Thermo-elektrische Elemente. Im Jahre 1823 machte See- 156
beck die Entdeckung (Gilbert's Annal. LXXIII), dass in einem ganz metallischen Bogen, welcher aus einem auf einen Wismuthstab aufgelötheten Kupferbügel bestand, ein Strom entstand, sobald die eine der beiden Löthstellen eine höhere Temperatur hatte als die andere. Fig. 425 stellt einen Apparat dar, dessen man sich zur Wiederholung des Seebeck'schen Grundversuchs bedienen kann. *p o* ist ein Stäbchen von Wismuth, *m n* ein Bügel von Kupfer, welcher mit seinen Enden auf das Wismuthstäbchen aufgelöthet ist; *a* ist eine auf einer Spitze frei spielende Magnetnadel. Wenn die beiden Löthstellen noch die Temperatur der umgebenden Luft haben, wird der Apparat so gestellt, dass die Längsaxe von *p o* in die Ebene des magnetischen Meridians fällt, dass also die Nadel mit der Axe und den Längenkanten des Wismuthstäbchens parallel steht; sobald nun eine der Löthstellen, etwa *o*, erwärmt wird, erleidet die Nadel eine mehr oder weniger bedeutende Ablenkung; erkaltet man aber dieselbe Löthstelle *o* unter die Temperatur der umgebenden Luft, so beobachtet man eine Ablenkung nach entgegengesetzter Richtung.

Fig. 425.



Diese Ablenkungen der Nadel bald nach der einen, bald nach der anderen Seite zeigen offenbar einen elektrischen Strom an, welcher den

Fig. 425.



Apparat in einer bestimmten Richtung durchkreist, wenn die Löthstelle *o* wärmer ist als *p*; in der entgegengesetzten aber, wenn die Löthstelle *o* kälter ist als die Löthstelle *p*.

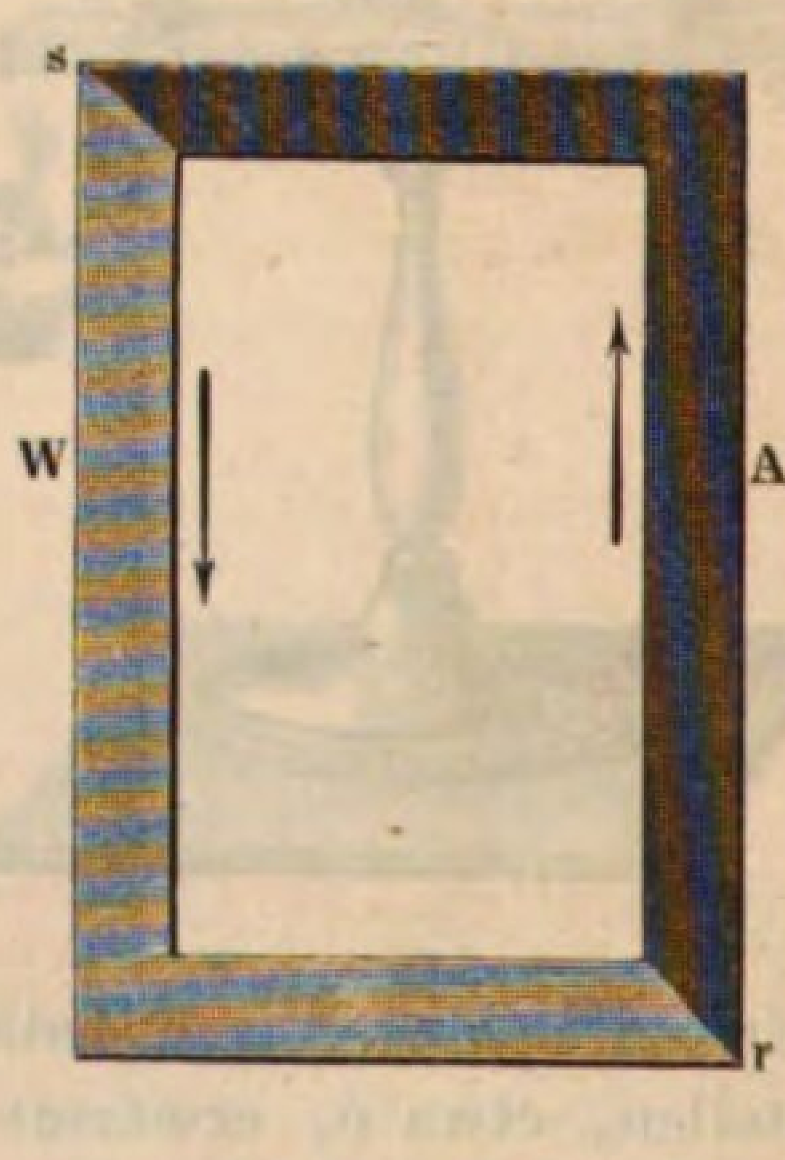
Im Allgemeinen wird in jedem aus zwei verschiedenen Metallen gebildeten Ringe ein Strom entstehen, wenn die eine Löth- (oder Berührungs)stelle wärmer ist als die andere. Seebeck nannte die so entstandenen Ströme thermo-elektrische. Einen aus zwei Metallen, die an zwei Stellen zusammengelöthet oder auf andere Weise in metallische Berührung gebracht sind, gebildeten Bogen aber nannte er ein thermo-elektrisches Element.

Sehr kräftige thermo-elektrische Elemente werden aus Wismuth

Fig. 426.



Fig. 427.



und Antimon gebildet, die man zu einem länglichen Rechteck zusammensetzt, wie Fig. 427 zeigt, in welcher die hellschraffirte Hälfte Wis-

muth, die andere Antimon bezeichnet. Die beiden Metalle sind bei *s* und *r* zusammengelöthet. Um den Versuch zu machen, erwärmt man vorsichtig die eine Löthstelle über einer Weingeistlampe und hält dann eine der längeren Seiten des Rechtecks gerade über die sich noch in ihrer Ruhelage befindliche Declinationsnadel Fig. 426. Man muss das Rechteck aus Wismuth und Antimon doch so gross machen, dass jede der längeren Seiten wenigstens die Länge der Magnetnadel hat.

Häufig haben die einfachen thermo-elektrischen Elemente auch die

Fig. 428.

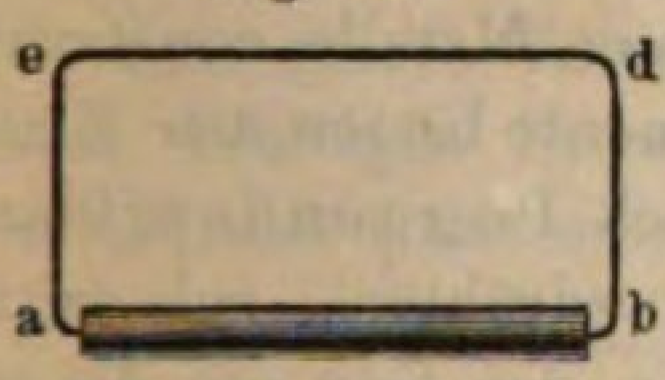


Fig. 428 dargestellte Einrichtung. *ab* ist ein Stäbchen von Antimon oder Wismuth, an dessen beiden Enden ein Kupferdraht *aedb* angelöthet ist. Um den Versuch zu machen, wird die eine Löthstelle erwärmt und das Drahtstück *ed* über die Nadel gehalten.

Die bisher betrachteten thermo-elektrischen Elemente bilden an und für sich schon einen geschlossenen Leitungsbogen; man kann sie aber auch offen machen und die Schliessung der Kette durch einen Multiplicator bewerkstelligen.

Fig. 429 stellt ein offenes thermo-elektrisches Element dar. An die beiden Enden eines Wismuthstabes sind Streifen von Kupferblech ange-

Fig. 429.



löthet. Bringt man die Enden *c* und *d* mit den Drahtenden eines Multiplicators in leitende Verbindung, so wird die Nadel desselben abgelenkt, wenn man eine der Löthstellen, *a* oder *b*, erwärmt.

Fig. 430.



Eine sehr zweckmässige Form hat Pouillet den offenen Thermo-Elementen gegeben, welche in Fig. 430 dargestellt ist.

Ein auf beiden Seiten mit einem kurzen verticalen Arm endigender Wismuthstab *a* wird von einem passenden Stativ getragen. An jedem Ende dieser vertical herabreichenden Wismutharme ist unten ein Kupferdraht angelöthet, und mittelst dieser beiden Kupferdrähte kann man einen Multiplicator in den Schliessungskreis des Thermo-Elements einschalten. Wird nun die eine Löthstelle in ein Gefäss mit schmelzendem Schnee, die andere aber in ein Gefäss eingetaucht, in welchem Wasser durch eine unter-

gesetzte Lampe im Kochen erhalten wird, so liefert ein solches Element Ströme von sehr constanter elektromotorischer Kraft.

Die Thermo-Elemente eignen sich vorzüglich, um die Temperatur verschiedener Körper zu bestimmen, da man ihnen bei sehr geringen Dimensionen eine beliebige Form geben und sie so an die zu prüfenden Körper andrücken oder in dieselben einsenken kann, ohne ihnen eine merkliche Wärmemenge zu entziehen.

Ein derartiges aus einem Wismuth- und einem Antimonstäbchen gebildetes Thermo-Element ist in Fig. 431 dargestellt. Wegen der grossen Zerbrechlichkeit dieser Metalle construirt man aber solche Elemente besser aus Eisen und Platin, oder nach Poggendorff aus Eisen- und Neusilberdrähten, sei es in Form eines Drahtes, den man um die zu prüfenden Körper herumlegt oder durch ihn hindurchzieht, oder in Gestalt von Nadeln, die man in die zu untersuchenden Körper, z. B. thierische oder pflanzliche Gewebe, einsticht.

Fig. 431.

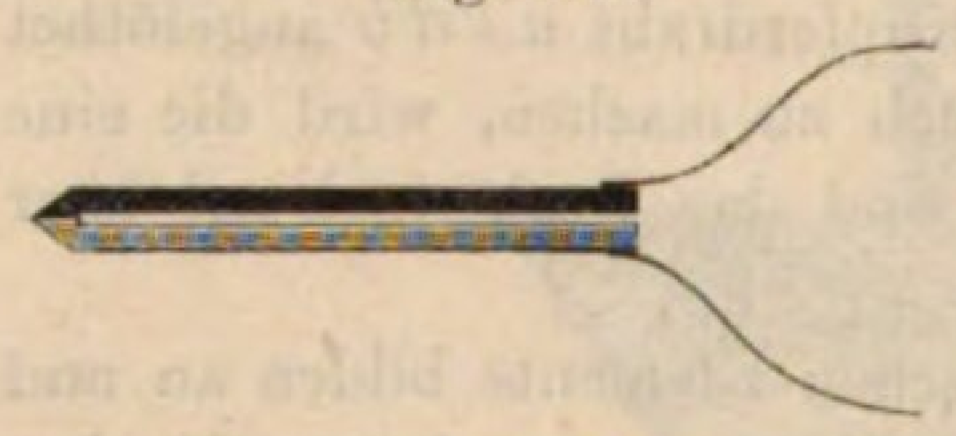


Fig. 432 stellt eine aus Eisen- und Neusilberdraht gebildete thermo-elektrische Nadel dar. Die Stelle, wo diese beiden Drähte a und b zusammengelöthet sind, ist zu einer Spitze s ausgearbeitet. Bis auf diese Löthstelle stecken die beiden, isolirt nebeneinander herlaufenden Drähte in einer Glasröhre; oben aber, wo die zum Multiplicator führenden Drähte c und d angelöthet sind, ist die Glasröhre noch mit einer Glaskugel umgeben, die mit Eiswasser gefüllt wird, um hier eine constante Temperatur zu erhalten.

Fig. 432.



Zur Beobachtung der durch ein derartiges Instrument erzeugten Ströme wendet man am besten ein Spiegelgalvanometer an. Hat man die Ablenkung beobachtet, welche entsteht, wenn die Spitze s in Wasser von bestimmter Temperatur eingesenkt wird, so kann man aus der für irgend einen andern Fall beobachteten Ablenkung auf die Temperatur schliessen, welcher jetzt die Spitze s ausgesetzt ist, da man für nicht zu grosse Temperaturdifferenzen die beobachteten Ablenkungen als proportional dem Temperaturüberschuss von s über 0^0 annehmen kann.

157 **Die thermo-elektrische Spannungsreihe.** Um mit Hülfe eines Multiplicators die thermo-elektrischen Ströme zu untersuchen, welche irgend zwei Metalle mit einander geben, wie z. B. Eisen und Platin, reicht es hin, ein Stück Platindraht durchzuschneiden und jedes Stück an dem einen Ende des Multiplicatordrahtes zu befestigen, so dass ein vollkommen metallischer Contact zwischen Platin und Kupfer besteht. Ist diese Einrichtung getroffen, so ist es gerade so gut, als ob der ganze

Multiplicatordraht von Platin wäre, vorausgesetzt, dass die beiden Berührungsstellen zwischen dem Kupfer- und Platindraht ganz gleiche Temperatur haben; man braucht dann nur zwischen den beiden Platinenden ein Stück Eisendraht anzubringen und die eine Berührungsstelle zwischen Platin und Eisen zu erwärmen, während die andere kalt bleibt, so erhält man den thermo-elektrischen Strom, welcher von der Temperaturdifferenz der beiden Stellen herrührt, in welchen sich Platin und Eisen berühren.

Wenn man verschiedene Metalle diesem Versuche unterwirft, so findet man grosse Verschiedenheiten; denn während irgend zwei Metalle einen kräftigen Strom geben, geben zwei andere unter ganz gleichen Verhältnissen nur einen ausserordentlich schwachen Strom.

Die Untersuchungen, die man über das gegenseitige Verhalten verschiedener Metalle in Beziehung auf die Erregung thermo-elektrischer Ströme gemacht hat, haben gezeigt, dass sich die Metalle in eine Reihe zusammenstellen lassen, welche die Eigenschaft hat, dass, wenn man aus zwei Metallen dieser Reihe eine Kette bildet und an der einen Berührungsstelle erwärmt, an dieser erwärmten Löthstelle der potitive Strom von dem in der Reihe tiefer stehenden Metall zu den höher stehenden übergeht. Diese Reihe ist (mit Auslassung der selteneren Metalle):

nach Seebeck	nach Becquerel	nach Hankel
+ Antimon	+ Antimon	+ Antimon
Eisen	Eisen	Eisen
Zink	Zink	Silber
Silber	Silber	Zink
Gold	Gold	Blei
Zinn	Kupfer	Zinn
Blei	Blei	Kupfer
Quecksilber	Platin	Gold
Kupfer	— Wismuth	Platin
Platin		Quecksilber
— Wismuth		— Wismuth

In dem Apparat Fig. 425 geht also, wenn die Löthstelle bei *o* erwärmt ist, der positive Strom in der Richtung von *o* durch den Kupferbügel nach *m* und dann durch den Wismuthstab nach *o* zurück; an der erwärmten Berührungsstelle *o* ist also das in der Reihe höher stehende Kupfer positiv gegen das tiefer stehende Wismuth. In dem Rechteck Fig. 427 circulirt der positive Strom in der Richtung der Pfeile, wenn die Löthstelle bei *r* wärmer ist.

Die drei oben mitgetheilten thermo-elektrischen Spannungsreihen zeigen mehrfache Abweichungen von einander. So steht z. B. das Kupfer in der Becquerel'schen Reihe höher, in den beiden anderen

tiefer als Blei. Solche Abweichungen sind aber leicht begreiflich, wenn man bedenkt, dass die Stellung eines Metalls in der Reihe schon durch geringe Beimengungen anderer Stoffe bedeutend alterirt wird. So fand z. B. Seebeck eine Sorte käuflichen Kupfers zwischen Gold und Zinn stehend, während er für reines, aus Oxyd reducirtes Kupfer die oben angegebene Stellung gefunden hatte.

Schon Seebeck hat gefunden, dass manche Legirungen in der thermo-elektrischen Spannungsreihe nicht zwischen den Metallen stehen, aus welchen sie zusammengesetzt sind. So fand er z. B. eine Legirung aus

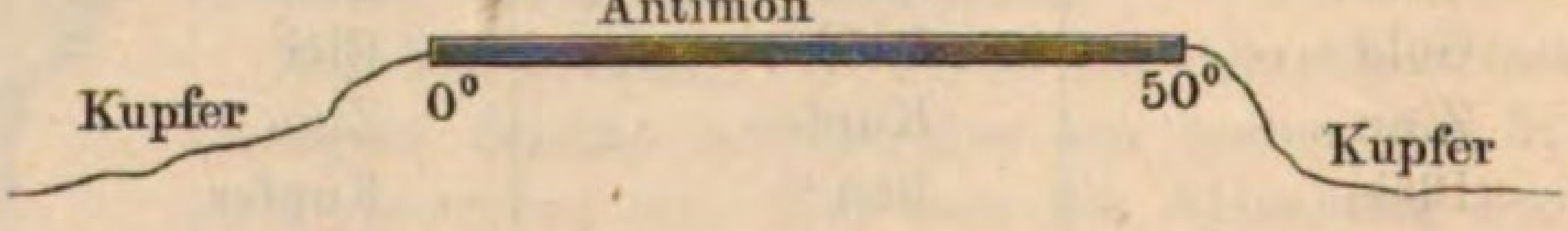
3	Wismuth	und	1	Zinn	zwischen	Antimon	und	Eisen
3	„	„	1	Blei	„	Eisen	„	Zink
1	„	„	1	Zinn	„	Zink	„	Silber

stehend.

Die thermo-elektrische Differenz zweier Metalle ist um so bedeutender, je weiter dieselben in der thermo-elektrischen Spannungsreihe auseinander stehen. Bei gleicher Temperaturdifferenz der Löthstellen wird also ein thermo-elektrisches Element aus Antimon und Wismuth einen stärkeren Strom geben, als ein solches aus Antimon und Zinn, und dieses giebt wieder einen stärkeren Strom als ein aus Zink und Zinn gebildetes Thermo-Element.

Löthet man an die beiden Enden eines Metallstabes, z. B. eines Antimonstabes, Fig. 433, zwei Kupferdrähte, welche zu den beiden

Fig. 433.



Drahtenden eines Multiplicators führen, so wird man einen bestimmten Ausschlag erhalten, wenn man die eine Löthstelle auf 0⁰ erkaltet, die andere etwa auf 50⁰ erwärmt. Denselben Ausschlag erhält man aber auch, wenn man an den Antimonstab zunächst einen Zinnstab, Fig. 434, und an diesen erst den zweiten Kupferdraht anlöthet und nun die Löthstelle Kupfer-Antimon wieder auf 0⁰ erkaltet, die beiden anderen Löthstellen (Antimon-Zinn, Zinn-Kupfer) aber beide auf 50⁰ erwärmt,

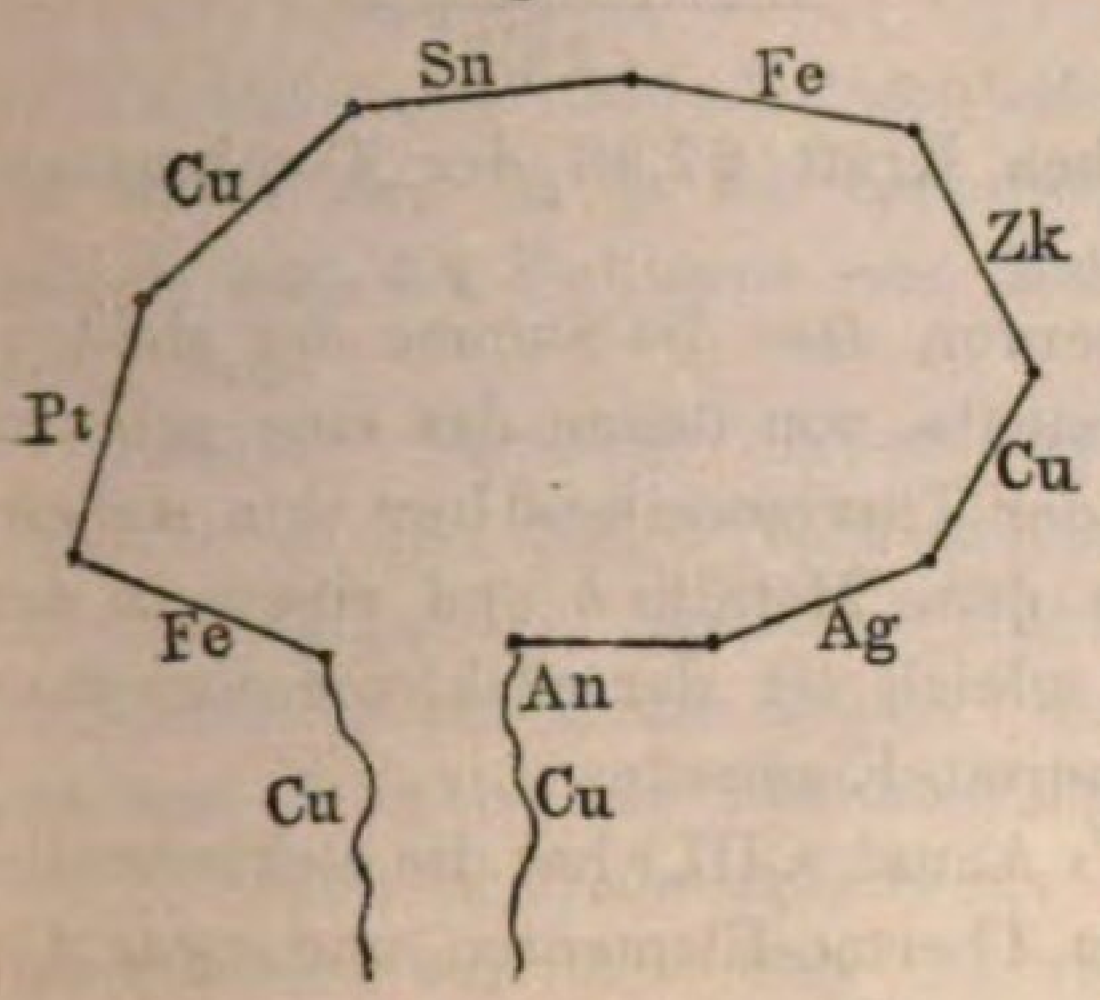
Fig. 434.



vorausgesetzt, dass der Leitungswiderstand der ganzen Kette durch die Einschaltung des Zinnstabes nicht merklich verändert worden ist.

Daraus folgt denn, dass wenn man zwischen die beiden Drahtenden eines Galvanometers eine ganze Reihe von aneinander gelötheten Metalldrähten einschaltet, wie es Fig. 435 andeutet und alle Löthstellen bis auf eine, die auf t^0 erwärmt ist, auf 0^0 erkaltet, dass man alsdann denselben Ausschlag erhalten wird, als ob der ganze Schliessungsbogen bei unverändertem Widerstande nur aus den beiden Metallen gebildet wäre, die sich an der auf t^0 erwärmten Löthstelle berühren. Ist z. B. die Löthstelle zwischen Zinn und Eisen auf t^0 erwärmt, während alle anderen Löthstellen auf 0^0 erkaltet sind, so erreicht der thermo-elektrische Strom dieselbe Stärke, als ob (bei unverändertem Leitungswiderstande) der ganze Schliessungsbogen nur aus Eisen und Zinn zusammengesetzt, und die eine Löthstelle auf t^0 erwärmt, die andere auf 0^0 erkaltet wäre.

Fig. 435.



Becquerel führte den Versuch in der Fig. 435 angedeuteten Weise aus. Während alle übrigen Löthstellen auf 0^0 erkaltet waren und nur eine auf 20^0 erwärmt wurde, war die am Galvanometer abgelesene Stromstärke

31,24	wenn die Löthstelle	Eisen-Zinn	erwärmt war.
8,55	" " "	Kupfer-Platin	
27,96	" " "	Eisen-Kupfer	
2,00	" " "	Silber-Kupfer	
26,20	" " "	Eisen-Silber	
36,07	" " "	Eisen-Platin	
3,50	" " "	Kupfer-Zinn	
1,00	" " "	Zink-Kupfer	
0,50	" " "	Silber-Gold	

Es ist also für eine Temperaturdifferenz von 20^0 die elektromotorische Kraft der Combination

Eisen-Kupfer 27,96
Kupfer-Platin 8,55
die Summe beider 36,51

also sehr nahe gleich der für die Combination Eisen-Platin gefundenen elektromotorischen Kraft 36,07.

Es ist die elektromotorische Kraft

Eisen-Kupfer 27,96
Kupfer-Zinn 3,50
die Summe beider 31,46

sehr nahe gleich der elektromotorischen Kraft Eisen-Zinn, welche nach obiger Tabelle gleich 31,24 ist. Ferner haben wir für

Eisen-Silber	26,2
Silber-Kupfer	2,0
deren Summe	28,2

sehr nahe gleich der elektromotorischen Kraft 27,96 der Combination Eisen-Kupfer u. s. w.

Aus diesen Versuchen geht also hervor, dass die Summe der elektromotorischen Kräfte zweier Thermo-Elemente, von denen das eine gebildet ist aus einem Metalle b und einem in der Thermoreihe über ihm stehenden Metalle a, das andere aber aus dem Metalle b und einem in der Thermoreihe unter ihm stehenden c gleich ist der elektromotorischen Kraft eines aus a und c gebildeten Thermo-Elementes.

Auch Matthiessen (Poggendorff's Annal. CIII.) hat die elektromotorischen Kräfte einer grossen Reihe von Thermo-Elementen und zwar für geringere Temperaturdifferenzen bestimmt. Die thermo-elektromotorische Kraft zwischen chemisch reinem Silber und käuflichem weichen Kupferdraht gleich 1 gesetzt, ist die elektromotorische Kraft des Thermo-Elementes

Silber-Wismuth, rein, gepresster Draht	+	32,9
„ „ „ gegossen	+	24,9
„ Argentan, hart	+	5,2
„ Quecksilber	+	2,5
„ Blei	+	1,0
„ Platin, käuflicher Draht	+	0,723
„ Kupfer, galvanoplastisch	+	0,244
„ Antimon, käuflicher Draht	—	1,89
„ Antimon, rein, gegossen	—	9,87
„ Legirung, 12 Wismuth 1 Zinn	—	13,67
„ „ 2 Antimon 1 Zink	—	22,7
„ Tellur	—	179
„ Selen	—	290

Es ist dies nur ein Auszug aus der vollständigen Tabelle Matthiessen's. Das Zeichen + besagt, dass sich Silber gegen das fragliche Metall positiv, das Zeichen — aber, dass sich Silber negativ gegen dasselbe verhält.

Sehr auffallend ist die extreme Stellung, welche Tellur und Selen einnehmen.

Die elektromotorische Kraft thermo-elektrischer Elemente ist sehr klein im Vergleich zu derjenigen der hydro-elektrischen Elemente. Die erste derartige Vergleichung hat Pouillet angestellt; er fand die elektromotorische Kraft eines Wismuth-Kupfer-Elementes für eine Temperaturdifferenz der Löthstellen von 50° gleich 0,053 von der eines Wollaston'schen Bechers. Die elektromotorische Kraft eines Daniell'schen

Bechers gleich 1 gesetzt, ist die elektromotorische Kraft eines Wismuth-Kupfer-Elementes für eine Temperaturdifferenz von 100° nach den Messungen von

Wheatstone	0,0084
Neumann	0,0039.

Zur Vergleichung thermo-elektrischer Elemente mit hydro-elektrischen sind unter den in §. 94 besprochenen Methoden die Compensationsmethode und die Fechner'sche Methode grosser Widerstände die zweckmässigsten.

Mehrere Physiker haben die Beobachtung gemacht, dass verschiedene in der Natur vorkommende Schwefelmetalle mit Kupfer oder auch untereinander combinirt thermo-elektrische Elemente von grosser elektromotorischer Kraft liefern. So fand z. B. Bunsen, dass Kupferkies und Kupfer ein Thermo-Element liefern, dessen elektromotorische Kraft für eine Temperaturdifferenz von 100 gleich $^1/_{15}$; für eine Temperaturdifferenz von 150° aber $^1/_{10}$ von der elektromotorischen Kraft eines Daniell'schen Bechers ist.

Stefan fand (Poggendorff's Annal. CXXIV.), dass unter den sogleich näher anzugebenden Umständen die elektromotorische Kraft eines Thermo-Elementes aus

Blätterigem Kupferkies und Kupfer	gleich ist	$^1/_{26}$	von der elektromotorischen Kraft eines Daniell'schen Bechers.
Compactem Kupferkies-Kupfer	" "	$^1/_{9}$	
Comp. Kupferkies-Blättr. Kupferkies	" "	$^1/_{14}$	
Kupfer-Krystallisirter Kobaltkies	" "	$^1/_{26}$	
Körniger Kobaltkies-Kupfer . . .	" "	$^1/_{78}$	
Kupfer-Schwefelkies	" "	$^1/_{16}$	
Compact. Kupferkies-Schwefelkies .	" "	$^1/_{6}$	
Bleiglanz in gross. Kryst.-Kupfer .	" "	$^1/_{10}$	

u. s. w.

In dieser Tabelle ist stets der elektropositive Körper vorangestellt.

Diese Resultate zeigen, welch bedeutenden Einfluss die Structur eines Körpers auf sein thermo-elektrisches Verhalten hat. Während sich z. B. krystallisirter Kobaltkies gegen Kupfer stark negativ verhält, ist amorpher Kobaltkies schwach positiv gegen Kupfer.

Natürlicher Kupferkies lässt sich in starker Rothglühhitze ohne merkliche Zersetzung schmelzen und in beliebige Formen giessen. Solch umgegossener Kupferkies zeigt aber, wie Bunsen fand, in thermo-elektrischer Beziehung ein ganz anderes Verhalten als der natürliche krystallisirte, er sinkt nämlich in der Thermoreihe noch unter Wismuth herab, so dass er negativ gegen Kupfer wird.

Das Verfahren, dessen sich Stefan zur Ermittelung obiger Zahlenwerthe bediente, war folgendes: Das zu untersuchende Mineral wurde auf das Ende eines Kupferstreifens, auf das Mineral das Ende eines Drahtes gelegt, und das Ganze durch eine Zwinge zusammengedrückt.

Dieser Draht und ein von dem freien Ende des Kupferstreifens ausgehender führen zu einem Galvanometer mit grossem Widerstande. Der Kupferstreifen wird durch eine Weingeistlampe erwärmt.

Um zwei beliebige Mineralien zu einem Thermo-Element zu verbinden, wurde ein Kupferstreifen zwischen beide gebracht, an ihre abgewendeten Seiten Drähte angelegt und das Ganze mit einer Holzzwinge zusammengedrückt. Der freie Fortsatz des Kupferstreifens wurde in die Flamme gebracht, diente also nur als Zuleiter der Wärme zur Berührungsstelle.

Einfluss der Temperaturdifferenz. Die elektromotorische Kraft eines Thermo-Elementes ist natürlich von der Temperaturdifferenz der beiden Löthstellen abhängig. Für schwache Temperaturdifferenzen ist die thermo-elektrische Kraft stets der Temperaturdifferenz proportional.

Während sich bei einigen Metallcombinationen diese Proportionalität sehr weit erhält, wie z. B. nach Becquerel von 0° bis 350° bei Palladium-Platin, nach Draper bis 280° bei Eisen-Palladium, zeigen andere und namentlich die leichter schmelzbaren Metalle schon für geringere Zunahmen der Temperaturdifferenz bedeutende Abweichungen. So erhielt z. B. Draper die in der folgenden Tabelle angegebenen Stromstärken für die darüber stehenden Temperaturdifferenzen der beiden Löthstellen.

	50°	2 . 50 = 100°	5,6 . 50 = 280°
Kupfer-Platin	11	2 . 11 + 6 = 28	5,6 . 11 + 60,4 = 122
Eisen-Platin	28	2 . 28 + 0 = 56	5,6 . 28 + 91 = 148
Eisen-Silber	89	2 . 89 — 17 = 137	5,6 . 89 — 254 = 244
Eisen-Kupfer	93	2 . 93 — 10 = 176	5,6 . 93 — 286 = 235
Eisen-Palladium	112	2 . 112 — 1 = 223	5,6 . 112 + 4' = 631

Nur die letzte Combination folgt sehr nahe dem Gesetze der Proportionalität, für die andere wächst die elektromotorische Kraft bald in rascherem, bald in weniger raschem Verhältniss als die Temperaturdifferenz.

Regnault brachte ein Wismuth-Antimon-Element in den Schliessungsbogen des einen, ein Eisen-Platin-Element in den Schliessungsbogen des anderen Drahtes eines Differentialgalvanometers, und zwar so, dass die Ströme der beiden Elemente die Nadel in entgegengesetzter Richtung umkreisten, und bestimmte dann die Temperaturdifferenzen, für welche die beiden Elemente gleich starke Ströme gaben. Auf diese Weise fand er die folgenden correspondirenden Temperaturdifferenzen:

Wismuth-Antimon.	Eisen-Platin.
4,9	79,0
9,5	153,1
14,1	282,2

Für gleichen Wachsthum der Stromstärke müssen also die Temperaturdifferenzen bei dem Eisen-Platin-Element in rascherem Verhältniss steigen, als bei dem Wismuth-Antimon-Element.

Da sich die elektromotorische Kraft verschiedener Thermo-Elemente bei wachsenden Temperaturdifferenzen nicht nach dem gleichen Gesetze ändert, so ist klar, dass auch die gegenseitige Stellung der verschiedenen Metalle in der thermo-elektrischen Spannungsreihe nicht für alle Temperaturen dieselbe bleiben kann. So fand z. B. Seebeck, dass für höhere Temperaturen das Kupfer über Gold steht.

Bei manchen thermo-elektrischen Elementen erreicht die elektromotorische Kraft für eine bestimmte Temperaturdifferenz ein Maximum, um dann für weiter gesteigerte Temperaturdifferenzen wieder abzunehmen, durch 0 zu gehen, um jenseits einen entgegengesetzten Strom zu entwickeln.

Den Punkt des Zeichenwechsels hat Thomson den neutralen Punkt genannt. Wenn die eine Löthstelle auf 0° erhalten wird, so ist nach Becquerel die Temperatur, zu welcher man die andere Löthstelle erwärmen muss, um das Maximum der elektromotorischen Kraft und den neutralen Punkt zu erreichen, für

	Maximum	Wechsel
Eisen-Kupfer . . .	140° . . .	300°
Zink-Silber	120 . . .	225
Zink-Gold	70 . . .	150

Nach Hankel aber für

	Maximum	Wechsel
Zink-Kupfer . . .	— . . .	171°
Zink-Silber	— . . .	155
Eisen-Zink	143° . . .	252
Eisen-Kupfer . . .	169 . . .	279
Eisen-Silber . . .	184 . . .	295

Ein Eisen-Kupfer-Element wird also bei einer Temperaturdifferenz von 300°, ein Zink-Kupfer-Element bei einer Temperaturdifferenz von 171° gar keinen Strom mehr geben.

Ströme in einem Metallstück. Verbindet man die Drahtenden eines Thermomultiplicators durch einen scheinbar ganz homogenen Metalldraht, so beobachtet man manchmal thermo-elektrische Ströme, wenn man diesen Verbindungsdraht an irgend einer Stelle erwärmt. Es ist dies offenbar die Folge von irgend einer Ungleichförmigkeit im 159

Draht. Eine solche Ungleichförmigkeit wird z. B. schon dadurch hervorgebracht, dass man an irgend einer Stelle des Drahtes einen Knoten macht, wie Fig. 436 andeutet. Erwärmt man dann den Draht in der Nähe dieses Knotens, so entsteht alsbald ein Strom, welcher, nach Becquerel's Beobachtung, in einem Platindraht in der Richtung von der erwärmten Stelle zum Knoten geht, während Nobili mit leichter oxydirbaren Metallen, wie Zink und Eisen, Ströme in entgegengesetzter Richtung erhielt.

Fig. 436.

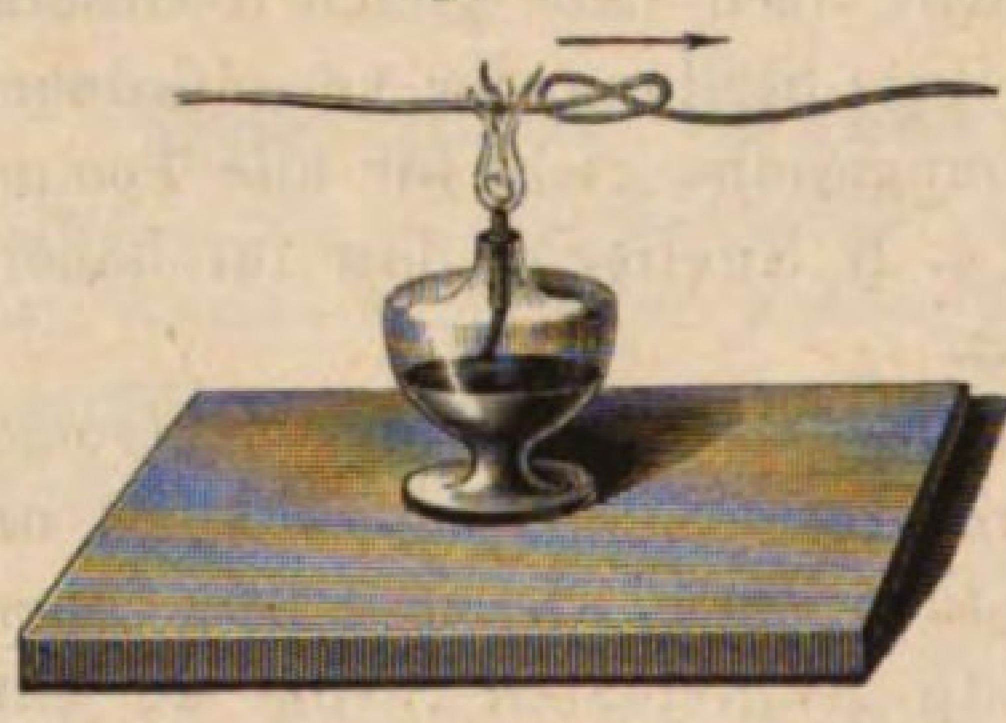
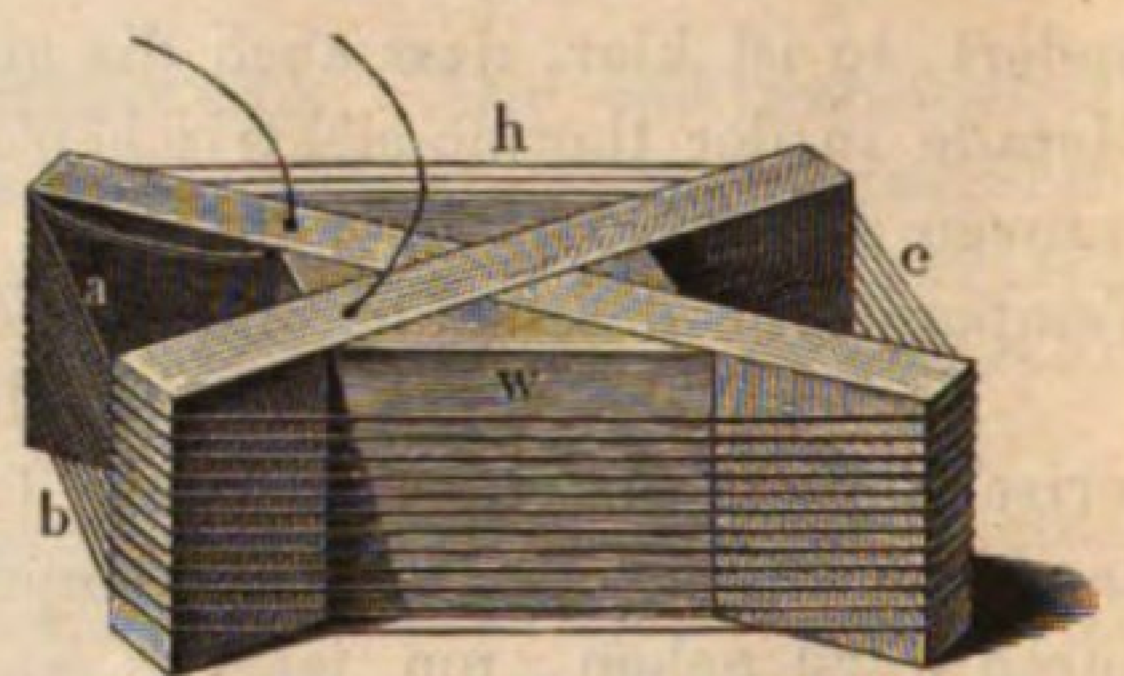


Fig. 437.



Magnus machte die Hälfte eines durch wiederholtes Ziehen gehärteten Messingdrahtes durch Ausglühen weich und verband dann seine beiden Enden mit den Enden des Galvanometerdrahtes. Beim Erwärmen der Stelle, wo der weiche und der harte Theil des Drahtes aneinander stossen, erhält man einen Strom, welcher an dieser Stelle vom weichen zum harten Drahtstück geht.

Man kann die Intensität dieses Stromes sehr verstärken, wenn man gleichlange Stücke eines längeren Drahtes abwechselnd ausglüht und hart lässt, und ihn dann auf einen Holzrahmen, Fig. 437 so aufwindet, dass die harten Drahtstücken sämmtlich auf die eine Seite *h*, die weichen alle auf die entgegengesetzte Seite *w* fallen, während die Gränzen der harten und weichen Theile in den Linien *ab* und *cd* liegen (*d* vertical unter *c*, in der Figur nicht sichtbar). Verbindet man die Enden dieses Drahtes mit den Enden des Galvanometerdrahtes, so erhält man sehr starke Ströme, wenn man entweder in *ab* oder in *cd* erwärmt.

An der erwärmten Stelle geht der positive Strom vom weichen zum harten Theil bei Messing, Silber, Stahl, Kupfer, Platin; vom harten zum weichen aber bei Neusilber, Zink, Zinn und Eisen.

160 **Kalte und warme Drähte.** Wenn man zwei Stücke des nämlichen Metalls, von denen das eine kalt, das andere warm ist, mit einander in Berührung bringt, so entwickeln sie Ströme, welche von dem Temperaturunterschiede abhängig sind und mit ihm verschwinden. — Verbindet man z. B. nach Becquerel zwei ganz gleiche Drähte von Platin mit den Leitungsdrähten des Galvanometers, so zeigt dieses einen Strom an, wenn man den einen Draht erwärmt und ihn dann mit dem kalten in Berührung bringt, und zwar geht der positive Strom an der Berührungsstelle vom warmen zum kalten Draht.

Magnus wandte zur Untersuchung dieser Ströme den in Fig. 438 abgebildeten Apparat an. In einen Blechcylinder A waren unten zwei

Fig. 438.



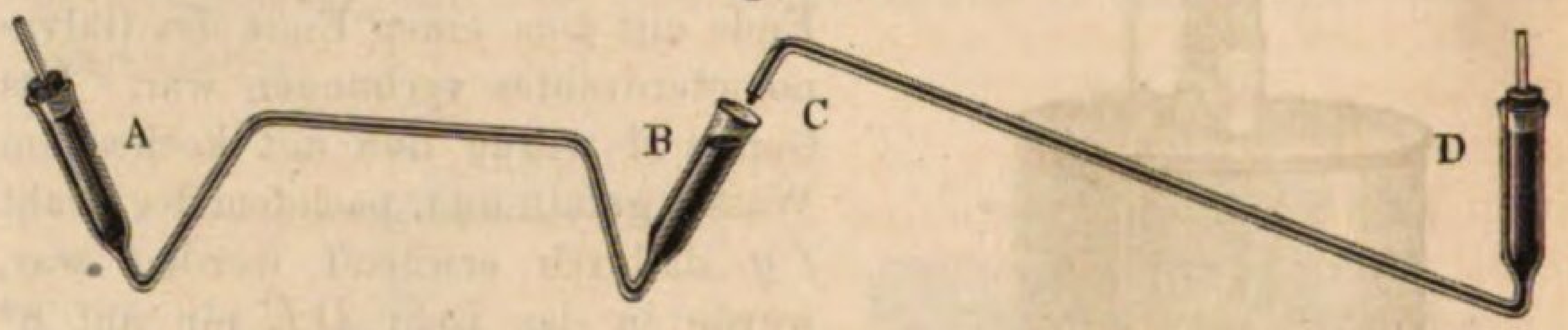
sich rechtwinklig kreuzende Blechröhren BC und DE eingesetzt, in welche von oben die senkrechte Röhre K einmündete. Durch das Rohr BC war ein Draht fg gesteckt, dessen eines Ende mit dem einen Ende des Galvanometerdrahtes verbunden war. Das Gefäss A wurde nun mit kochendem Wasser gefüllt und, nachdem der Draht fg dadurch erwärmt worden war, wurde in das Rohr DE ein auf 8⁰ erkalteter Draht hi so eingesteckt, dass er auf fg zu liegen kam. Eine innige Berührung der beiden Drähte wurde durch einen mit Blei beschwerten Holzstab bewirkt, welcher in das verticale Rohr K eingesteckt wurde. Sobald man nun das hervorragende Ende i des kalten Drahtes mit dem anderen Ende des Galvanometerdrahtes in Berührung brachte, erfolgte ein Ausschlag der Galvanometernadel. Die folgende Tabelle giebt die am Galvanometer beobachtete Ablenkung an, welche mit dem Zeichen + versehen ist, wenn der positive Strom an der Berührungsstelle vom warmen zum kalten Draht ging, während das Zeichen — die entgegengesetzte Stromesrichtung anzeigt.

	Beide Drähte		Ein Draht hart, der andere weich	
	hart	weich	der harte warm	der weiche warm
Neusilber	— 40	— 72	— 5, dann + 24	— 80
Silber, rein	— 7	— 3	— 73	+ 68
Kupfer	— 3	— 8	— 24	+ 15
Zinn	— 7	— 10	+ 7	— 20
Zink	+ 28	+ 28	+ 62	— 34
Platin	+ 24	+ 22	+ 13	+ 36
Messing	+ 3	+ 12	— 90	+ 90
Silber (25 % Kupfer)	+ 6	+ 12	— 82	+ 78
Quecksilber	0	0	0	0

Für grössere Temperaturunterschiede ändert sich die Erscheinung vielfach.

Dass warmes und kaltes Quecksilber keinen Strom geben, ist schon von Matteucci beobachtet. Magnus stellte den Versuch mit Quecksilber in folgender Weise an: Zwei Glasröhren *AB* und *CD* mit angeblasenen Glasgefässen, Fig. 439, wurden mit Quecksilber gefüllt, in *A* und

Fig. 439.



D die Galvanometerdrähte eingetaucht. Es zeigte sich kein Strom, mochte nun das Quecksilber in *B* erwärmt und in dasselbe das kalte Quecksilber der Spitze *C*, oder mochte umgekehrt das erwärmte Quecksilber der Spitze *C* in das kalte des Gefässes *B* eingetaucht werden.

161 **Thermo-elektrische Säulen.** Nach dem Princip der Volta'schen Säule kann man eine mehr oder minder grosse Anzahl *n* von thermo-elektrischen Elementen zu einer thermo-elektrischen Säule verbinden, und wird dann einen Strom von *n*mal so grosser elektromotorischer Kraft erhalten als ihn bei gleicher Temperatur der Löthstellen ein einziges Element zu liefern im Stande ist, wenn man die Löthstellen 1, 3, 5 u. s. w. erwärmt, während die dazwischen liegenden kalt bleiben. — Dieser Erklärung zufolge ist klar, dass der in Fig. 437 Seite 470 dargestellte Apparat in die Kategorie der thermo-elektrischen Säulen gehört.

Nobili construirte eine thermo-elektrische Säule, um mittelst derselben in Verbindung mit einem entsprechenden Multiplicator ganz geringe Temperaturunterschiede merklich zu machen und stellte auf diese Weise einen Apparat dar, welcher für das Studium der strahlenden Wärme von der grössten Bedeutung geworden ist. Nobili's Thermosäule ist aus 25 bis 30 Stäbchen von Wismuth und Antimon zusammengesetzt, welche ungefähr 3 bis 4 Centimeter lang sind. Sie sind zusammengelöthet, wie man Fig. 441 sieht, nämlich so, dass alle paarigen Löthstellen auf der einen, alle unpaarigen auf der anderen Seite sich befinden. Das Ganze bildet ein kleines compactes und festes Bündel Fig. 440, weil die Zwischenräume zwischen den einzelnen Stäbchen mit einer isolirenden Substanz, etwa mit Gyps, ausgefüllt sind, denn sie dürfen sich natürlich nur an den Löthstellen berühren. Das Wismuthstäbchen

Fig. 440.

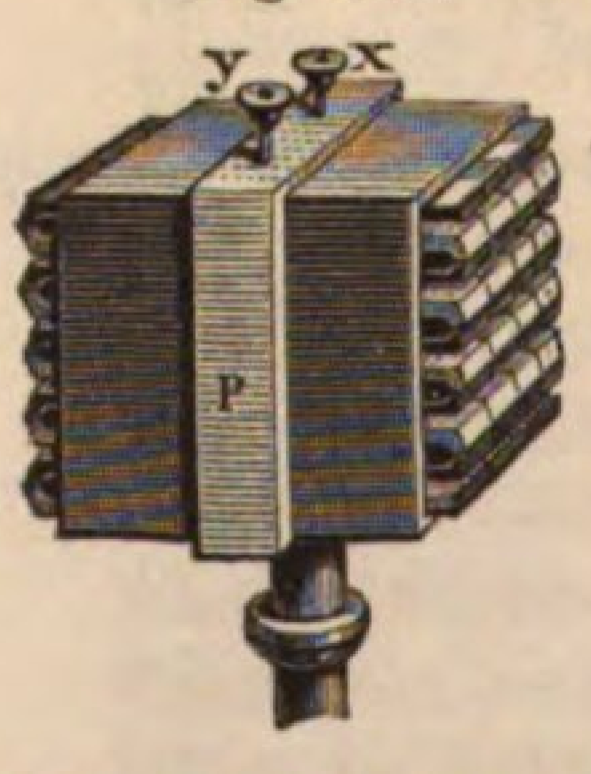
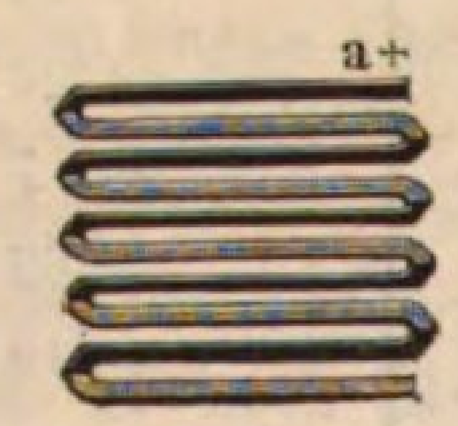


Fig. 441.



des ersten Paares ist mit dem Stifte x, das Antimonstäbchen des letzten Paares ist mit dem Stifte y in leitender Verbindung, diese Stifte bilden also die beiden Pole der Säule; mit ihnen werden die Enden des Multiplicatordrahtes in Verbindung gebracht.

Man hat der thermo-elektrischen Säule für specielle Untersuchungen besondere Formen gegeben, die wir jedoch hier nicht näher betrachten können.

Mit einer thermo-elektrischen Säule, welche nach demselben Princip construirt ist, wie die Fig. 440, deren Elemente aber grösser sind, kann man ziemlich kräftige thermo-elektrische Ströme hervorbringen, wenn die beiden Enden möglichst ungleichen Temperaturen ausgesetzt werden. Zu diesem Zwecke wird die Säule vertical gestellt, die untere Fläche in Schnee getaucht, während die obere Fläche der Strahlung einer glühenden Eisenplatte ausgesetzt ist.

Der thermo-elektrische Strom bringt alle Wirkungen des hydroelektrischen Stromes hervor, nur bedarf es, um einigermaassen merkliche Effecte zu erhalten, solcher Säulen, welche aus einer grösseren Anzahl von Elementen zusammengesetzt sind.

Watkins brachte durch den Strom einer grossen Säule von 30 Wismuth- und Antimonpaaren einen Elektromagneten zu Stande, welcher 30 Pfund trug.

Botto und Alexander gelang zuerst die elektrolytische Zerlegung des Wassers mittelst thermo-elektrischer Ströme.

Wärmeentwickelung erhielt Watkins durch den Thermostrom in einem elektrischen Luftthermometer und in einem Breguet'schen Metallthermometer.

Mit einer Säule von 81 Wismuth-Antimonpaaren, in welcher jeder Stab 27‴ lang, 5‴ breit und 4‴ dick war, erhielt Munke noch keinen directen Oeffnungs- oder Schliessungsfunken, wohl aber Oeffnungsfunken, wenn sich eine Inductionsspirale im Schliessungsbogen befand.

Die aus Wismuth und Antimon construirten Thermosäulen leiden an dem grossen Uebelstand, dass sie nicht allein sehr zerbrechlich sind, sondern dass sie auch keine bedeutende Temperaturerhöhung auf der einen Seite vertragen, weil man sonst Gefahr läuft, dass eine Schmelzung der Löthstellen eintritt; man hat deshalb andere thermo-elektrisch wirksame Metallcombinationen in Anwendung gebracht, welche eine bedeutende Erhitzung der Löthstellen vertragen, wie z. B. Eisen-Platin oder nach Poggendorff's Angaben Eisen-Neusilber.

Sehr kräftige Thermosäulen hat neuerdings Marcus construirt (Sitzungsbericht der Wiener Akademie, LI. Bd., Pogg. Ann. CXXIV.); er benutzte dabei die merkwürdige Thatsache, dass viele Legirungen in der thermo-elektrischen Reihe nicht zwischen den Metallen stehen, aus denen sie zusammengesetzt sind, sondern eine extreme Stellung auf der einen oder anderen Seite der Thermoreihe einnehmen. Marcus wählte nun für seine Thermosäule solche Legirungen, welche nicht nur in der Thermo-

reihe möglichst weit auseinander liegen, sondern welche auch möglichst hohe Schmelzpunkte haben. Unter anderen benutzte er eine Legirung von

65 Gewichtstheilen Kupfer, 3 „ Zink } als + Metall und
12 „ Antimon, 5 „ Zink } als — Metall.

Erstere Legirung schmilzt bei circa 1200°, letztere bei 600°. Statt des oben genannten positiven Metalls lässt sich auch Neusilber anwenden.

Die elektromotorische Kraft eines aus diesen Legirungen gebildeten Thermo-Elementes ist bei der höchsten zulässigen Temperatur nach Stefan's Bestimmungen gleich $^1/_{18}$ von der elektromotorischen Kraft eines Daniell'schen Bechers.

Eine Batterie von 125 solchen Elementen war im Stande in einer Minute 25 Cubikcentimeter Knallgas zu entwickeln und einen Platindraht von $^1/_2$ Millimeter Dicke glühend zu machen. Eine Säule von 30 Elementen aber konnte einen Elektromagnet von 150 Pfund Tragkraft erzeugen.

Mit zwei Marcus'schen, von Wilhelm Albert in Frankfurt a. M. bezogenen Thermosäulen, deren jede aus 20 Elementen bestand, erhielt ich folgende Resultate: Die beiden Säulen, hinter einander verbunden, gaben an einer Tangentenbussole, deren Reductionsfactor gleich 70 war, eine Ablenkung von 5,2°, welche auf 3,8° zurückging, als der Widerstand 50 (alte Jakobi'sche Einheit) eingeschaltet wurde. Daraus ergiebt sich für eine Säule von 20 Elementen die elektromotorische Kraft $e = 462$ und der wesentliche Widerstand $r = 73$.

Als die beiden Säulen neben einander combinirt waren, gaben sie an der Tangentenbussole einen Ausschlag von 11°, welcher auf 4,2° zurückging, als der Widerstand 50 eingeschaltet wurde. Daraus ergiebt sich $e = 582$ und $\frac{r}{2} = 30$. also $r = 60$. Im Mittel also wäre für eine Marcus'sche Säule von 20 Elementen

$$e = 522 \text{ und } r = 66.$$

Da die elektromotorische Kraft eines Daniell'schen Bechers nach den hier angewandten Einheiten ungefähr 470 ist, so stimmt dies Resultat sehr gut mit dem von Stefan erhaltenen überein.

Die grosse Differenz der beiden für e gefundenen Werthe rührt lediglich daher, dass während des ersten Versuchs die oberen Berührungsstellen noch nicht so stark erwärmt waren, wie während des zweiten.

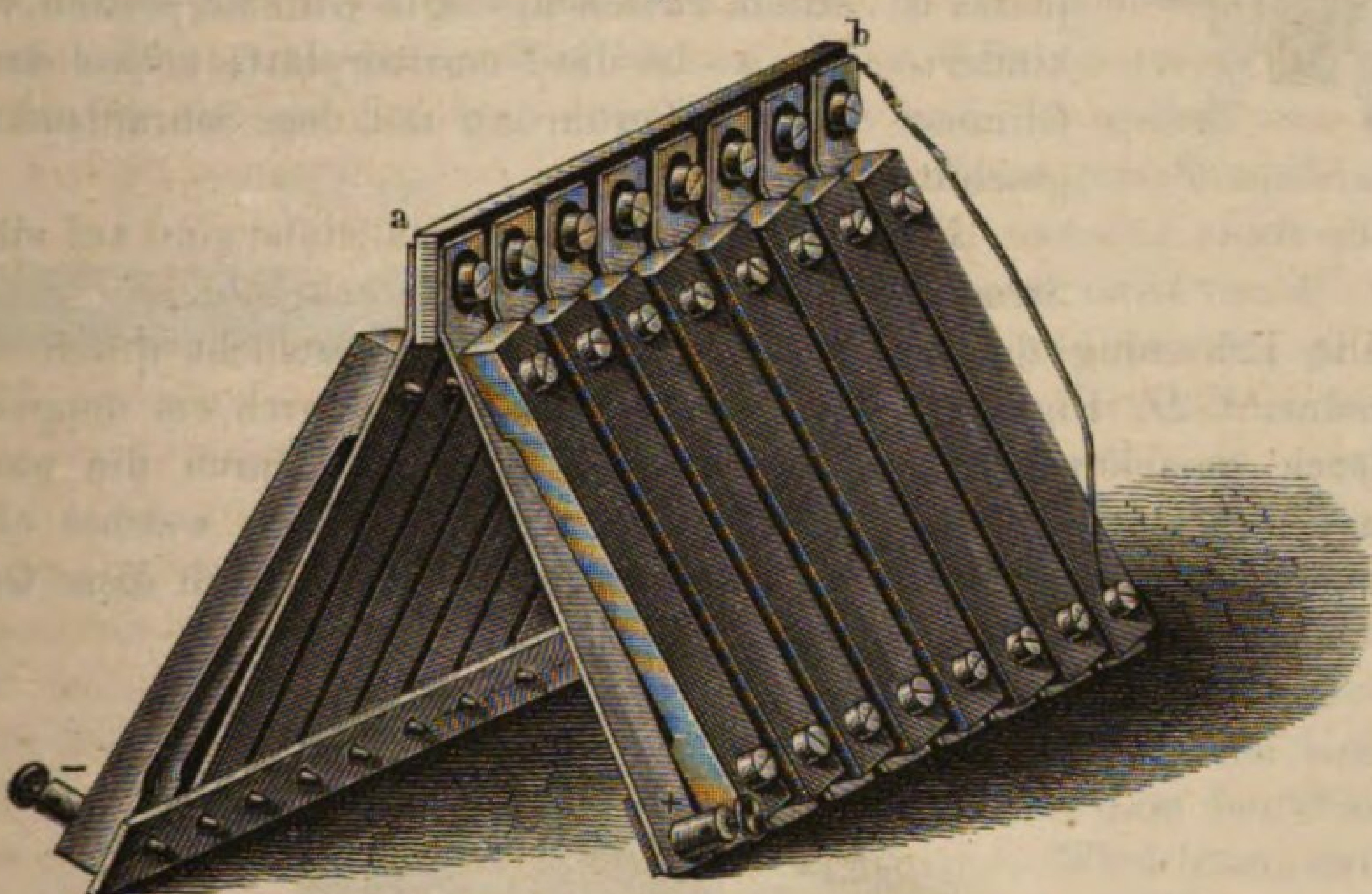
Der Strom dieser 40 Elemente lieferte einen ziemlich kräftigen Elektromagneten, und als der in den Windungen der Magnetisirungsspirale circulirende Strom durch Herausziehen eines Zuleitungsdrahtes aus einem Quecksilbernäpfchen unterbrochen wurde, erschien ein glänzendes Fünkchen.

Wasserzersetzung konnte mit diesen 40 Elementen noch nicht erzielt werden.

Bei dem grossen Leitungswiderstande dieser Vorrichtung müsste man 5 solcher Säulen von 36 bis 40 Elementen neben einander combiniren, um eine Thermosäule zu erhalten, welche in ihren Wirkungen einen kleinen Deleul'schen Zinkkohlenbecher ersetzen könnte.

Fig. 442 stellt eine Marcus'sche Thermosäule von 16 Elementen dar (meistens bestehen sie aus 20 Elementen). Auf jeder Seite einer

Fig. 442.



eisernen Platte *ab* sind 8 Streifen von Neusilber aufgeschraubt (ohne jedoch mit dem Eisenstab oder unter sich in leitender Verbindung zu stehen), welche 18 Mm. breit, 18 Cm. lang und gegen 2 Mm. dick sind. Gleich unterhalb des Eisenstabes *ab* sind sie nach der Seite gebogen und zwar auf der einen Seite nach links, auf der anderen nach rechts, so dass sie gleichsam ein Dach bilden. Die negativen Stäbe, welche ihrer schlechten Leitungsfähigkeit sowie ihrer Sprödigkeit wegen 25 Mm. dick sind, haben eine Länge von 15,5 Centimeter.

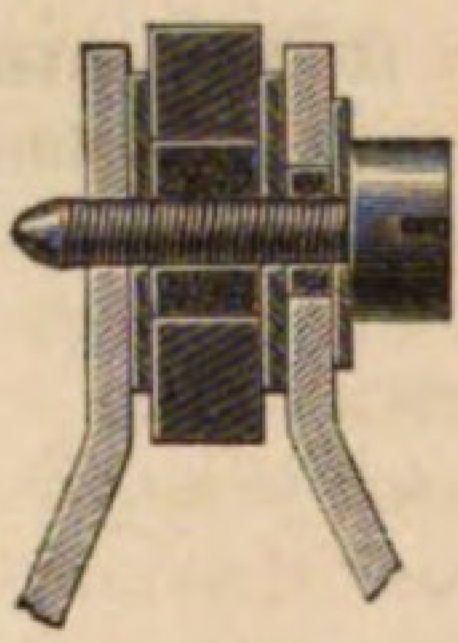
Die negativen Stäbe sind nun aber mit den positiven nicht zusammengelöthet, sondern nur aufgeschraubt, wie man es in Fig. 442 sieht, und zwar so, dass auf der rechten Seite des Apparats der 1ste negative Stab oben auf den 1sten, unten auf den 2ten Neusilberstreifen aufgeschraubt ist. Der 2te negative Stab der rechten Seite ist oben auf den 2ten, unten auf den 3ten Neusilberstreifen aufgeschraubt u. s. w.

Das untere Ende des 1sten Neusilberstreifens auf der rechten Seite bildet den positiven, das untere nach vorn vorstehende Ende des vordersten negativen Stabes auf der linken Seite bildet den negativen Pol der Säule.

Das untere Ende des hintersten negativen Stabes auf der rechten Seite ist durch einen Kupferdraht mit dem unteren Ende des hintersten Neusilberstreifen auf der linken Seite verbunden.

Fig. 443 zeigt, wie die Neusilberstreifen auf dem Eisenstab *ab* befestigt sind. Das Gewinde der Schraube greift nur in die Neusilberplatte auf der linken Seite ein. Die Eisenplatte und der Neusilberstreifen auf der rechten Seite haben grössere Oeffnungen, welche mit Thoncylindern ausgefüllt sind, durch deren Mitte die Schraubenspindel hindurchgeht. Die Berührung der Neusilberplatten und der Eisenplatte ist durch zwischengelegte Glimmerplatten verhindert. Ebenso ist die Neusilberplatte rechts durch Glimmer vor der Berührung mit dem Schraubenkopf geschützt.

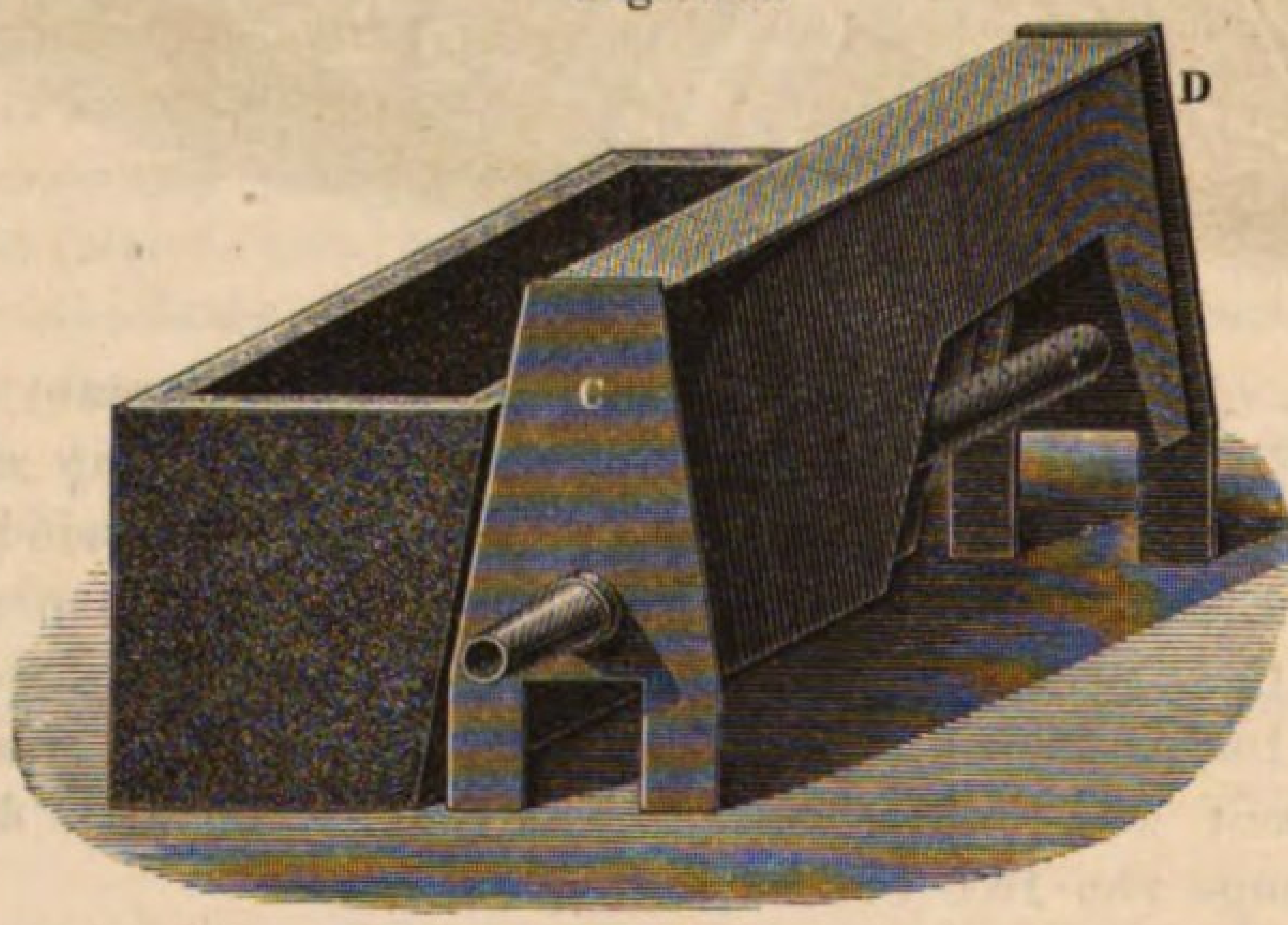
Fig. 443.



Die unteren Enden der Metallstäbe sind auf einen Streifen von Kammmasse aufgeschraubt.

Die Erhitzung der oberen Berührungsstellen geschieht durch den Gasbrenner *CD*, Fig. 444, ein unten offener, oben durch ein doppeltes Drahttuch geschlossener Kasten von Schwarzblech. Durch die ganze Länge des Kastens geht unten ein Messingrohr hindurch, welches oben mit einer Reihe feiner Oeffnungen versehen ist. Das durch diese Oeffnungen ausströmende Gas mischt sich innerhalb des Kastens mit atmosphärischer Luft und kommt oberhalb des Drahttuches zur Verbrennung.

Fig. 444.



Besser ist es, wenn der Kasten unten nicht ganz offen, sondern wenn er hier mittelst eines durchlöcherten Blechs geschlossen ist.

Auf jeder Seite des Gasbrenners *CD* steht ein Gefäss von gebranntem Thon. Unsere Figur zeigt das auf der linken Seite stehende, während das andere weggelassen ist. In diese kaltes Wasser enthaltenden Gefässe sind die unteren Berührungsstellen der Thermosäule eingetaucht.

Das Kühlwasser in den beiden Trögen erwärmt sich nur langsam, so lange die Kette geschlossen bleibt, aber rasch, wenn man sie geöffnet

lässt, ein Beweis, dass die Strombildung von einer Wärmeconsumtion begleitet ist.

Kälteerzeugung durch den elektrischen Strom. Peltier 162
machte zuerst die überraschende Beobachtung, dass an der Berührungsstelle zweier verschiedener zusammengelötheten Metalle eine Erwärmung oder eine Erkaltung erfolgt, je nachdem man einen hydroelektrischen Strom von angemessener Stärke in der einen oder in der anderen Richtung hindurchgehen lässt. — Den Versuch stellte er in folgender Weise an. Ein Stab von Wismuth und ein solcher von Antimon, deren jeder ungefähr $4^1/_2$ Zoll lang war und einen quadratischen Querschnitt von 4''' hatte, wurden so auf einander gelöthet, dass sie ein Kreuz bildeten; an der Kreuzungsstelle waren sie ineinander gefügt; jeder einzelne Stab hatte also die Gestalt Fig. 445. Die Fig. 446 stellt das ganze Kreuz, und zwar der dunkel schraffirte Arm den Antimonstab, der helle Arm den Wismuthstab dar. Wird nun zwischen die Stabenden *W* und *A* ein Multiplicator *G* eingeschaltet, wie dies in der Figur angedeutet ist, so wird dieser Multiplicator nach der einen Seite ausschlagen, wenn man die Löthstelle bei *m* erwärmt, nach der anderen, wenn man sie erkaltet, und zwar hat der durch das Galvanometer angezeigte Strom die Richtung der ungefiederten Pfeile, wenn die Löthstelle bei *m* erkaltet wird.

Fig. 445.

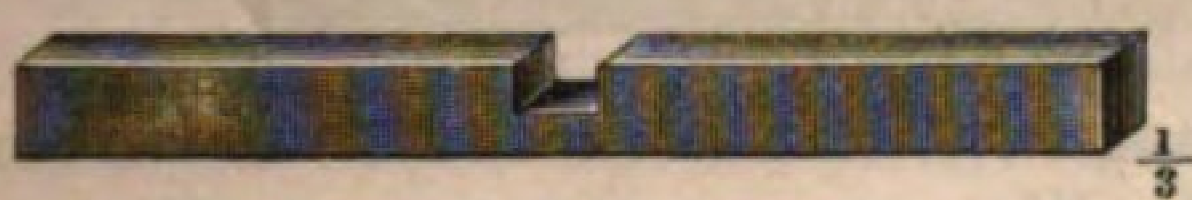
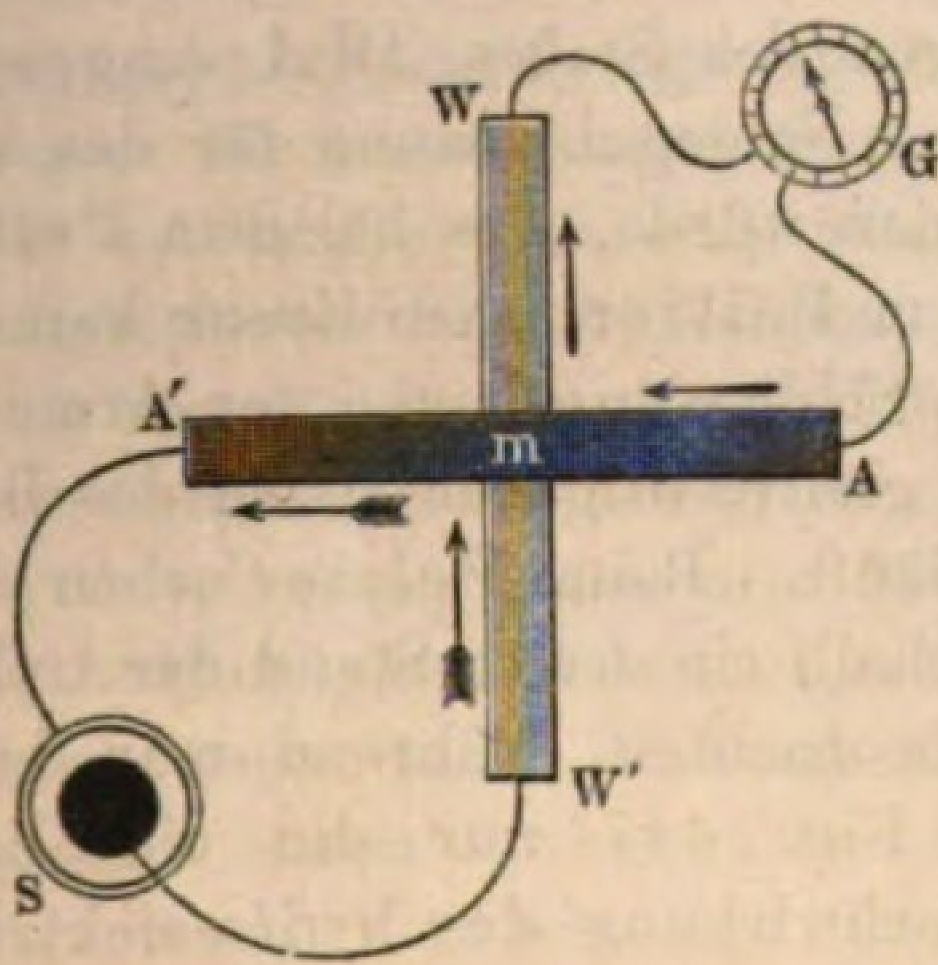


Fig. 446.

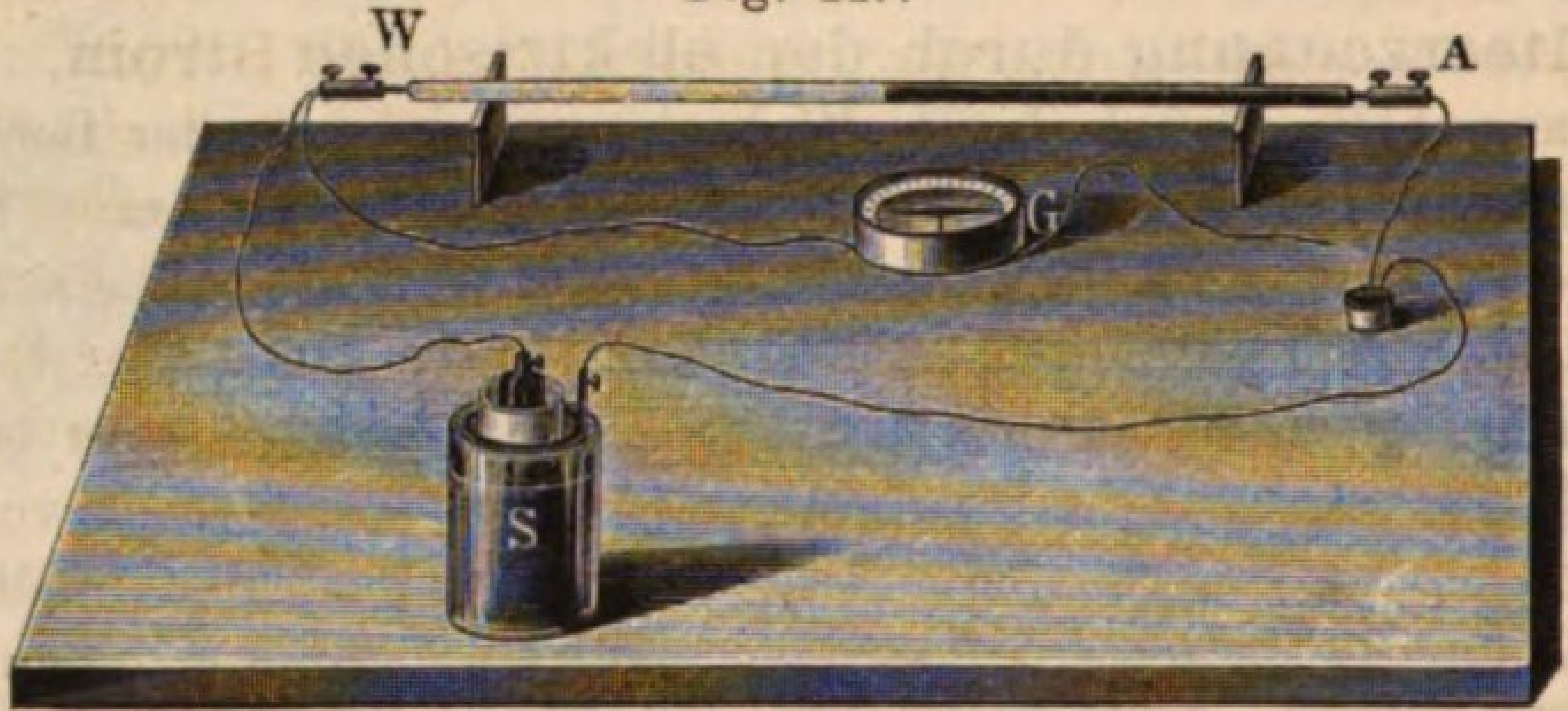


Nun aber verband Peltier *A'* mit dem einen, *W'* mit dem anderen Pole eines Volta'schen Elements *S*, so dass ein Strom die Arme *A'm* und *m W'* durchlief. Auch jetzt wurde die Multiplicatornadel abgelenkt, und zwar zeigte die Ablenkung eine Erwärmung bei *m* an, wenn der positive Strom von *A'* über *m* nach *W'* ging, eine Erkaltung, wenn er in der entgegengesetzten, durch die gefiederten Pfeile angedeuteten Richtung circulirte.

Die durch den galvanischen Strom hervorgebrachte Erkaltung an der Löthstelle zweier verschiedener Metalle lässt sich auch in der durch Fig. 447 (a. f. S.) erläuterten Weise zeigen. Ein zur Hälfte aus Wismuth, zur Hälfte aus Antimon bestehender Stab *WA* wird mittelst eines Quecksilbernäpfchens zuerst in den Schliessungsbogen eines Bunsen'schen Bechers *S*, und nach Unterbrechung des von *S* durch *WA* gesendeten

Stromes in den Schliessungsbogen des Galvanometers *G* gebracht. War der positive Strom des Bechers *S* in der Richtung vom Wismuth zum

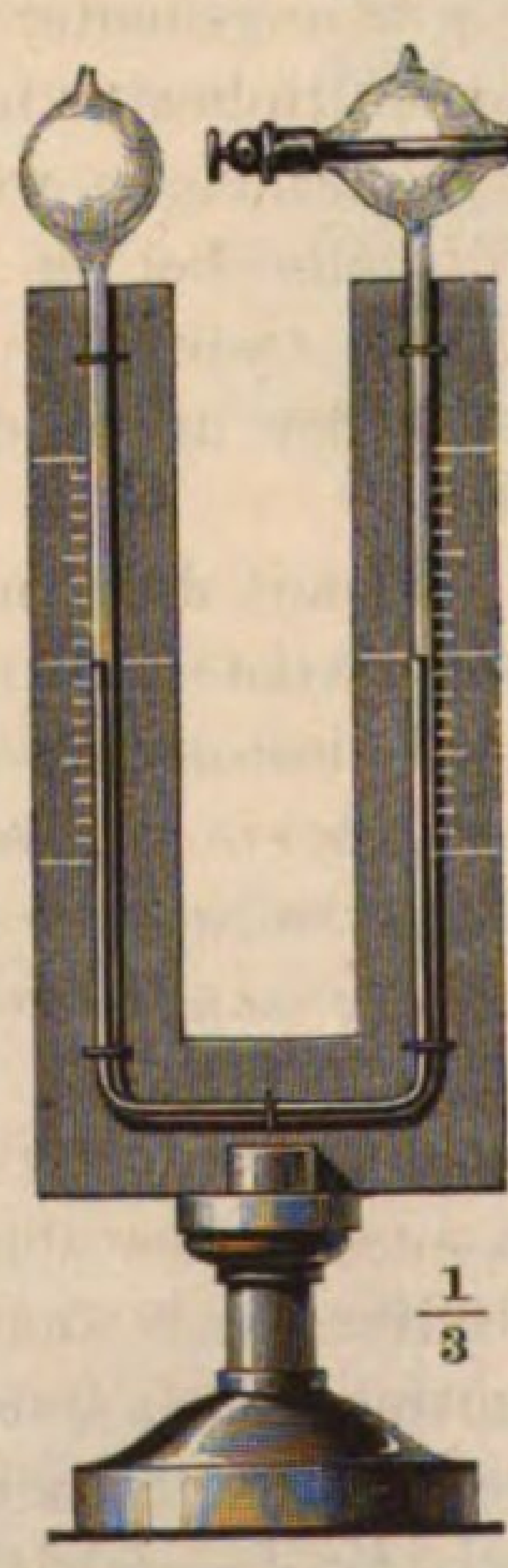
Fig. 447.



Antimon durch den Stab *WA* gegangen, so zeigte nachher die Ablenkung des Galvanometers einen im Stab *WA* vom Antimon zum Wismuth gehenden Strom, also eine Erkaltung der Löthstelle an.

Bei dieser Vorrichtung darf das Galvanometer nicht gleichzeitig mit dem Becher *S* in den Schliessungsbogen des Stabes *WA* eingeschaltet sein, weil sonst das Galvanometer eine Nebenschliessung für den hydro-elektrischen Strom des Bechers *S* bilden würde, was bei dem Peltier'-schen Kreuz nicht der Fall ist. Bei dem Peltier'schen Kreuz kann ohne Anstand das Galvanometer *G* in den Schliessungsbogen der Arme *Wm* und *mA* eingeschaltet sein, während gleichzeitig der Strom des Bechers *S* die Arme *W'm* und *mA'* durchläuft. Beim Peltier'schen Kreuz lässt sich deshalb ein fester Stand der Galvanometernadel beobachten, während man bei der Vorrichtung Fig. 447 nur die allmälig abnehmende Nachwirkung des hydro-elektrischen Stromes auf die Löthstelle beobachtet.

Fig. 448.



Die Erkaltung einer Löthstelle durch einen hydro-elektrischen Strom hat Peltier auch mit Hülfe des Apparates Fig. 448 direct nachgewiesen. Durch die eine Kugel eines Differentialluftthermometers geht luftdicht ein Stäbchen hindurch, dessen eine Längshälfte Wismuth, dessen andere Antimon ist. Lässt man einen galvanischen Strom durch das Stäbchen hindurchgehen, so zeigt das Sinken der Flüssigkeit im Schenkel rechts eine Erwärmung der Löthstelle an, wenn der positive Strom vom Antimon zum Wismuth geht; lässt man aber den Strom in entgegengesetzter Richtung circuliren, so steigt die Flüssigkeit in der Röhre, deren Kugel das Metallstäbchen enthält, was eine Erkaltung der Löthstelle anzeigt.

Lenz machte an der Löthstelle eines Wismuth- und Antimonstabes ein Loch, füllte es mit Wasser und legte den Stab auf schmelzenden Schnee, mit welchem er auch die übrigen Theile desselben, mit Ausnahme der Löthstelle, bedeckte. Die Stange erhielt dadurch natürlich eine Temperatur von 0°, welche auch ein in das Wasser der Löthstelle eingetauchtes Thermometer angab. Als aber der Stab so zwischen die Pole eines Volta'schen Elements eingeschaltet wurde, dass der positive Strom vom Wismuth zum Antimon ging, war das Wasser im Loche der Löthstelle nach 5 Minuten vollständig gefroren, und das Thermometer sank auf — 3,5°.

Damit sich die Erkaltung der Löthstelle wirklich zeigen kann, darf der hydro-elektrische Strom, welchen man durch sie hindurchsendet, aus Gründen, die sogleich besprochen werden sollen, nicht zu stark sein; in den meisten Fällen ist der Strom eines Bunsen'schen Bechers am geeignetsten.

Peltier war anfangs der Meinung, dass das fragliche Phänomen von den Leitungsverhältnissen der zusammengelötheten Metalle abhängig sei; Poggendorff aber hat gezeigt, dass sie durch die thermo-elektrischen Beziehungen der zusammengelötheten Metalle bedingt sei. Eine Erkaltung der Löthstelle tritt ein, wenn man durch dieselbe einen hydroelektrischen Strom hindurchsendet, welcher gleiche Richtung mit dem durch Erwärmung der fraglichen Löthstelle erzeugten Thermostrome hat, eine Erwärmung der Löthstelle tritt dagegen ein, wenn man den Hydrostrom in entgegengesetzter Richtung hindurchsendet.

Die Abhängigkeit dieser eigenthümlichen, nur an den Löthstellen auftretenden thermischen Wirkung von der Stärke des sie hervorrufenden Hydrostromes haben Quintus Icilius und Frankenheim untersucht.

Quintus Icilius liess den durch eine Tangentenbussole gemessenen Strom eines Bunsen'schen Bechers durch eine aus 32 Wismuth- und Antimonstäben gebildete Thermosäule gehen; durch diesen Hydrostrom wurde die Hälfte der Löthstellen (etwa die paarige) erwärmt, während die andere Hälfte derselben eine Erkaltung erfuhr. War nun dadurch, dass der Hydrostrom eine Zeit lang durch die Säule hindurchgegangen war, eine genügende Temperaturdifferenz der alternirenden Löthstellen erzielt worden, so wurde nun der Hydrostrom unterbrochen und die Thermosäule durch ein Spiegelgalvanometer geschlossen, dessen Magnet nun durch den Thermostrom der Säule abgelenkt wurde. Eine constante Ablenkung konnte aber natürlich hier nicht eintreten, da die durch den Hydrostrom hervorgerufene Temperaturdifferenz der Löthstellen nach dessen Unterbrechung ziemlich rasch abnimmt. Es wurden deshalb die Gränzlagen von 6 aufeinander folgenden Oscillationen des im Galvanometer aufgehängten Magnets beobachtet und aus diesen Beobachtungen auf die ursprüngliche Stärke des Thermostromes geschlossen. Auf diese Weise ergab sich nun, dass der Thermostrom der Wismuth-Antimonsäule, also auch die Temperaturdifferenz der alter-

nirenden Löthstellen der Stärke des sie hervorrufenden Hydrostromes einfach proportional ist. Die Temperaturveränderungen, welche der Hydrostrom an den Löthstellen bewirkt, folgen also einem ganz anderen Gesetz als die durch den Strom in metallischen Leitern überhaupt entwickelte Wärme, denn letztere ist, wie wir in §. 103 gesehen haben, dem Quadrate der Stromstärke proportional.

Zu dem gleichen Resultate gelangte auch Frankenheim (Pogg. Ann. XCI.) auf einem ganz anderen Wege. Er wandte zu seinen Versuchen verschiedene Metallcombinationen in Form des Peltier'schen Kreuzes an. Zwischen den Armen A' und W', Fig. 446, Seite 477, wurde ausser dem galvanischen Becher S noch eine Tangentenbussole und ein Commutator eingeschaltet, während sich ein Galvanometer G im Schliessungsbogen zwischen A und W befand.

Als der Hydrostrom, dessen Stärke durch Veränderung des eingeschalteten Widerstandes regulirt wurde, so durch die Kreuzungsstelle hindurchging, dass hier eine Erwärmung erfolgte, wurde das Galvanometer abgelesen; dann wurde der Hydrostrom umgekehrt und bei unveränderter Stärke desselben die der Erkaltung der Kreuzungsstelle entsprechende Stellung der Galvanometernadel beobachtet.

Die folgende kleine Tabelle giebt an, welches für ein Wismuth-Antimonkreuz, welches aus 4,5 Millimeter dicken cylindrischen Stäben gebildet war, die aus der Ablenkung des Galvanometers berechneten Stromstärken i und i' waren, als der Hydrostrom von der Stärke J (gemessen durch die Tangente des Ablenkungswinkels der Tangentenbussole) in der einen oder der anderen Richtung durch die Kreuzungsstelle ging und zwar entspricht i der Erwärmung, i' der Erkaltung der Kreuzungsstelle.

J	i	i'	b	a	$a:J$
0,333	0,104	— 0,093	0,005	0,098	0,328
0,782	0,279	— 0,194	0,042	0,236	0,302
1,391	0,506	— 0,305	0,101	0,405	0,299
2,123	0,988	— 0,272	0,358	0,630	0,297

Mittel 0,306.

Die den Stromstärken i und i' proportionalen Erwärmungen und Erkaltungen der Löthstelle sind das Resultat des Zusammenwirkens zweier verschiedener Wärmeprocesse, welche der Hydrostrom hervorbringt. Zunächst bewirkt er eine von der Stromesrichtung ganz unabhängige Erwärmung des ganzen metallischen Schliessungsbogens, welche, wie wir aus §. 103 wissen, dem Quadrat der Stromstärke proportional ist, und welche wir die primäre nennen und mit b be-

zeichnen wollen. Ausser dieser primären Wärme tritt aber an der Löthstelle, in welcher die heterogenen Metalle zusammenstossen, noch ein secundärer Effect auf, den wir mit a bezeichnen wollen und welcher je nach der Richtung des Stromes positiv oder negativ ist. Die an der Löthstelle auftretenden Aenderungen des Wärmezustandes sind also, je nach der Richtung des Hydrostromes, entweder

$$i = b + a$$

oder

$$i' = b - a.$$

Aus diesen beiden Gleichungen aber folgt

$$b = \frac{i + i'}{2}$$

und

$$a = \frac{i - i'}{2}.$$

Aus den beobachteten Werthen von i und i' lassen sich also die entsprechenden Werthe von a und b berechnen, und so ergeben sich die Werthe von a und b, wie sie in der vierten und fünften Verticalreihe der obigen Tabelle eingetragen sind. Dividirt man irgend einen der Werthe von a durch den ihm entsprechenden Werth von J, so ergiebt sich der Werth des Quotienten $a:J$, wie er in der sechsten Verticalreihe eingetragen ist. Dieser Quotient behält aber, wie man aus der Tabelle ersieht, stets sehr nahe denselben Werth; die Wärmeänderung a also, welche Frankenheim als die secundäre bezeichnet und welche lediglich von der Einwirkung des Hydrostromes auf die Löthstelle abhängt, ist also einfach der Stärke dieses Stromes proportional, dieser secundäre Wärmeeffect folgt also einem anderen Gesetze als die allgemeine Erwärmung des metallischen Schliessungsbogens.

Nach diesen Erörterungen ist also, wenn B und A irgend welche constante Factoren bezeichnen

$$b = BJ^2$$
$$a = AJ$$

also

$$i' = BJ^2 - AJ.$$

Wenn J von 0 an allmälig wächst, so ist i' anfangs schwach negativ, d. h. unter den entsprechenden Umständen zeigt sich an der Löthstelle eine schwache Erkaltung; diese Erkaltung nimmt zu, wenn J wächst, um ein Maximum zu erreichen, wenn $J = \frac{A}{2B}$. Wächst J noch mehr, so nimmt i' wieder ab, um für $J = \frac{A}{B}$ gleich Null zu werden. Wächst J über diesen Werth hinaus, so wird i' positiv, es tritt also keine Erkaltung der Löthstelle mehr ein. Dadurch erklärt sich nun auch, warum man nur schwächere Ströme in Anwendung bringen darf, wenn wirklich eine Erkaltung der Löthstelle stattfinden soll.

163 **Thermoströme zwischen Flüssigkeiten.** Wenn zwei sonst gleichartige mit den Enden des Multiplicatordrahtes verbundene Metallplatten, von denen die eine erwärmt ist, während die andere kalt bleibt, in eine stromleitende Flüssigkeit eingetaucht werden, so entsteht ein Strom, der aber wohl mehr der Oberflächenänderung der erhitzten Platte und ihrer veränderten Affinität zur Flüssigkeit zugeschrieben werden muss, als einer eigentlichen thermo-elektrischen Differenz. Weit mehr dürfte dies bei denjenigen Strömen der Fall sein, welche entstehen, wenn die Berührungsstelle heterogener Flüssigkeiten erwärmt wird.

Die Thermoströme zwischen Flüssigkeiten hat schon Nobili nachgewiesen. Wild benutzte zu ihrer Untersuchung den in Fig. 449 dargestellten Apparat. In den Boden eines Holzkästchens A waren zwei Glasröhren eingesetzt, die unten durch gleichartige Metallkapseln geschlossen waren; jede dieser Metallkapseln war durch einen Kupferdraht mit dem einen Drahtende eines empfindlichen Multiplicators verbunden. Als bei einem hierher gehörigen Versuch die beiden Metallkapseln aus Zink bestanden, war der untere Theil derselben mit einer Lösung von Zinkvitriol gefüllt und darauf eine Lösung von schwefelsaurer Magnesia gegossen worden. An der Berührungsstelle der beiden Flüssigkeiten wurde nun die eine Glasröhre mit einer Blechkapsel umgeben und durch dieselbe Wasserdampf geleitet, um hier eine Temperaturerhöhung zu bewirken. Dabei erfolgte in der That ein Ausschlag der Galvanometernadel, welcher einen Strom anzeigte, der an der erwärmten Berührungsstelle von der schwefelsauren Magnesia zu dem Zinkvitriol ging.

Fig. 449.



An der erwärmten Berührungsstelle der folgenden Lösungen ging der Strom von der einen zur anderen in der Richtung des kleinen Pfeils der folgenden Tabelle und zwar hatte die elektromotorische Kraft den in der letzten Verticalreihe rechts angegebenen Werth, wenn die elektromotorische Kraft eines Kupfer-Neusilberelementes für die gleiche Temperaturdifferenz gleich 1 gesetzt wird.

Kupfervitriol (1,1)	←	schwefelsaures Kali . .	(1,07) . .	5,7
Kupfervitriol (1,1)	←	schwefelsaure Magnesia	(1,05) . .	4,2
Kupfervitriol (1,1)	←	Zinkvitriol	(1,09) . .	3,6
Kupfervitriol (1,1)	←	Eisenvitriol	(1,07) . .	2,6
Kupfervitriol (1,1)	←	Eisenvitriol	(1,09) . .	1,9
Kupfervitriol (1,1)	←	Zinkvitriol	(1,2) . .	1,5

Die eingeklammerten Zahlen geben das specifische Gewicht der entsprechenden Lösungen an.

Eine concentrirte und eine verdünnte Lösung desselben Salzes giebt bei der Erwärmung der Contactstelle einen schwachen Strom, der hier von der verdünnten zur concentrirten Lösung geht.

Thermo-elektrisches Verhalten der Flamme. Mehrere 164
Physiker, wie Becquerel, Buff u. A., haben nachgewiesen, dass die Gase der Flamme im Stande sind, den elektrischen Strom zu leiten. Es lässt sich dies am einfachsten zeigen, wenn man die beiden Poldrähte einer Säule, in deren Schliessungsbogen ein Multiplicator eingeschaltet ist, von entgegengesetzter Seite her in gleicher Höhe in die Flamme einsenkt, aber so, dass sie nicht in Berührung kommen. Es erfolgt eine je nach den Umständen grössere oder geringere Ablenkung der Multiplicatornadel. Das Maximum der Leitungsfähigkeit zeigt die Flamme etwas unter ihrer Spitze, aber selbst noch etwas über der Spitze sind die von der Flamme aufsteigenden warmen Gase leitend.

Werden zwei Platindrähte, die mit den Drahtenden eines Multiplicators leitend verbunden sind, ohne dass sich eine Säule im Schliessungsbogen befindet, von entgegengesetzter Seite her, in gleicher Höhe, gleich tief in die Flamme eingetaucht, so zeigt sich kein Strom, so lange die beiden Platindrähte gleich warm sind; ist aber der eine Platindraht heisser als der andere, wie es z. B. der Fall sein wird, wenn man auf der einen Seite einen dünnen, auf der anderen Seite aber einen dickeren Platindraht in die Flamme hält, so zeigt der Multiplicator sogleich einen Strom an, der offenbar nur ein thermo-elektrischer Strom sein kann. Die erhitzte Gasschicht, welche sich hier zwischen den ungleich heissen Drahtstücken befindet, verhält sich offenbar gerade so, wie ein aus einem Metall *a* gebildeter Stab, an dessen beide Enden Drähte eines anderen Metalls *b* angelöthet sind.

Auf dieses Verhalten erhitzter Gase führt nun Wild (Pogg. Annal. CXI.) die unipolare Erwärmung der positiven Kohlenspitze beim galvanischen Flammenbogen, die wir bereits in §. 105 kennen lernten, zurück. Wenn sich die erhitzten Gase zwischen den Kohlenspitzen wie metallische Leiter verhalten und wenn sie ausserdem noch eine extreme Stellung in thermo-elektrischer Beziehung einnehmen, so muss in Folge der in §. 162 besprochenen secundären thermischen Wirkung des hydroelektrischen Stromes an der einen Kohlenelektrode eine Erhöhung, an der anderen eine Erniedrigung der Temperatur unter diejenige stattfinden, welche in Folge der primären Wirkung des Stromes allein hier auftreten würde.

Wenn diese Ansicht richtig ist, so muss ein thermo-elektrischer Strom entstehen, wenn man nach Unterbrechung des Hydrostromes, welcher den Flammenbogen erzeugte, rasch die positive Polspitze mit dem einen, die negative aber mit dem anderen Drahtende eines Galvanometers verbindet, und zwar muss dieser Strom die Luftschicht zwischen den Kohlenspitzen in entgegengesetzter Richtung durchlaufen, wie der ursprüngliche Hydro-

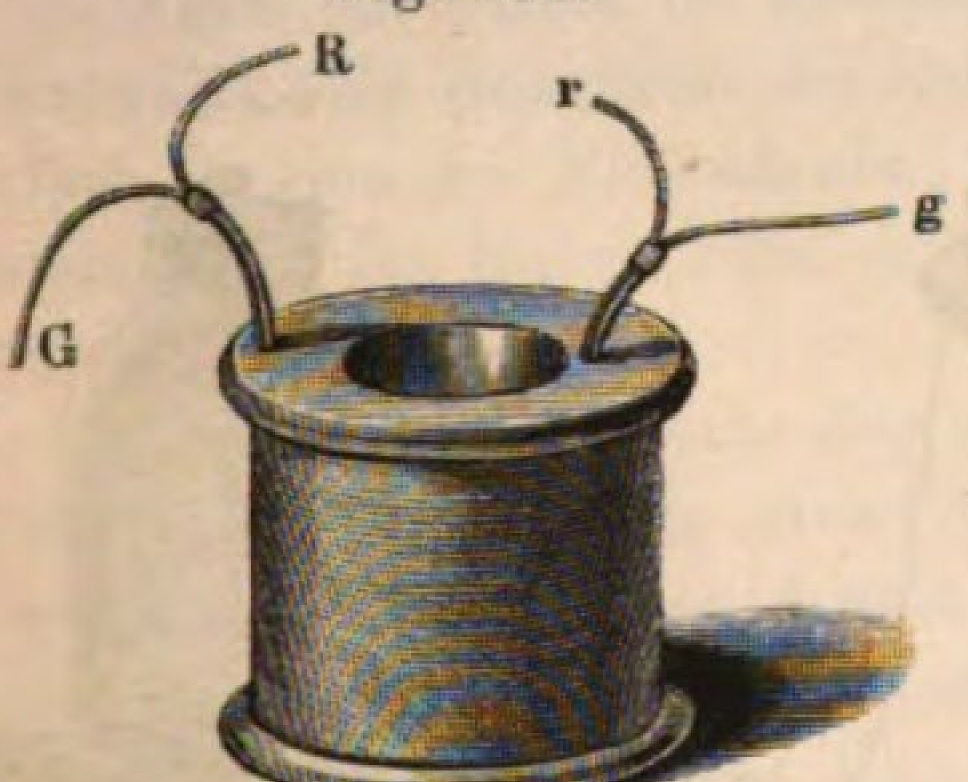
strom. Als **Wild** diesen Versuch mit einem Spiegelgalvanometer anstellte, zeigte sich nicht allein dieser Thermostrom, sondern er war auch stark genug, um einen über die Gränze der Scala hinausgehenden Ausschlag zu bewirken, dessen Richtung in der That einen positiven Strom andeutete, welcher von der kälteren Kohlenspitze durch die Luftschicht zur wärmeren überging.

Sechstes Capitel.

Inductionserscheinungen.

Wirkung eines elektrischen Stromes auf einen in sich geschlossenen leitenden Kreis. 165 Auf eine Spule von Holz seien zwei mit Seide (der eine etwa mit rother, der andere mit grüner) überzogene Kupferdrähte so aufgewickelt, wie man Fig. 450 sieht. Der eine

Fig. 450.



Draht läuft neben dem anderen her, ohne dass eine leitende Verbindung zwischen ihnen stattfindet. Wenn man nun mit dem einen Draht (etwa dem roth übersponnenen) eine galvanische Säule schliesst, indem man seine beiden Enden *R* und *r* mit den Polen derselben in Verbindung setzt, so circulirt in diesem Drahte der Strom, ohne dass er jedoch auf den anderen Draht übergehen könnte. Wir wollen den Draht *Rr*, welcher den Schliessungsbogen des Rheomotors bildet, den Hauptdraht, den anderen den Nebendraht nennen. — Verbindet man die Enden *G* und *g* des Nebendrahtes mit den Drahtenden eines Multiplicators, so erfolgt, wie Faraday zuerst beobachtet hat, eine Ablenkung der Nadel sobald man die Kette mit dem Hauptdraht schliesst, und zwar ergiebt sich aus der Seite, nach welcher diese Ablenkung erfolgt, dass der Strom im Nebendraht die entgegengesetzte Richtung von dem im Hauptdraht beginnenden hat.

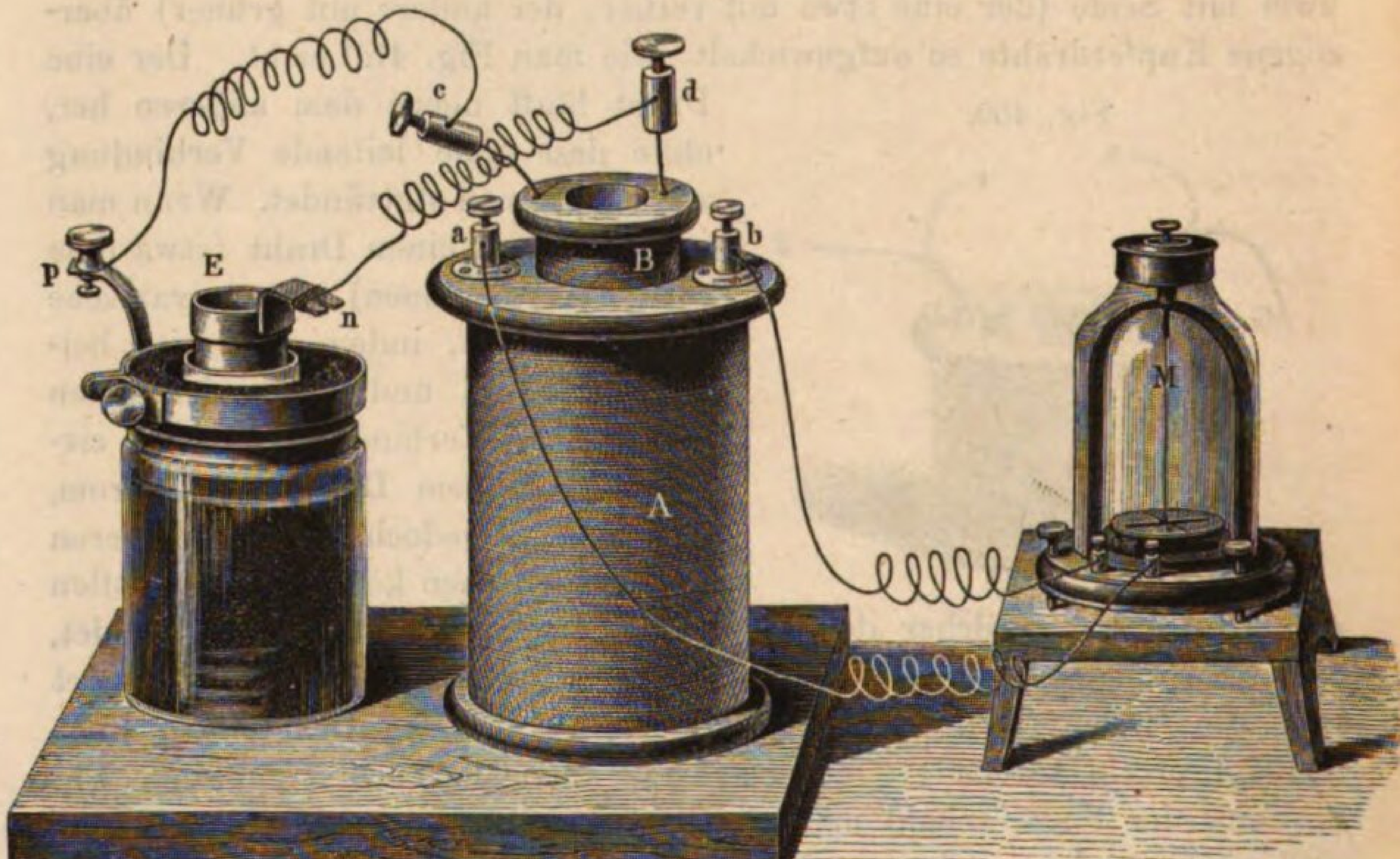
Dieser Strom im Nebendraht ist jedoch nicht andauernd, denn die Multiplicatornadel kehrt nach einigen Schwingungen wieder zum Nullpunkte der Theilung zurück und bleibt ruhig auf demselben stehen, so lange der primäre Strom in gleichmässiger Stärke den Hauptdraht durch-

läuft; sobald aber der Hauptstrom unterbrochen wird, schlägt die Galvanometernadel nach der entgegengesetzten Richtung aus, sie zeigt also nun einen Strom, der den Nebendraht in derselben Richtung durchläuft, in welcher der eben unterbrochene Hauptstrom sich bewegt hatte.

Diese Strombildung in einem geschlossenen Leiter durch die Einwirkung eines benachbarten Stromes wird nach Faraday's Vorschlag mit dem Namen der Induction oder auch der Volta-Induction bezeichnet. Ein galvanischer Strom inducirt also in einem benachbarten geschlossenen Leiter einen Strom von entgegengesetzter Richtung im Moment seines Entstehens, einen gleich gerichteten im Moment seines Aufhörens.

Es ist keineswegs nöthig, dass die beiden Drähte in der angegebenen Weise nebeneinander auf derselben Spule aufgewunden sind, sie können auch auf verschiedenen Spulen von ungleichem Durchmesser aufgewunden sein, so dass sich die eine Drahtspule in die andere hineinschieben lässt, wie dies Fig. 451 dargestellt ist. *A* ist die aus vielen Windungen eines dünnen (ungefähr $^1/_2$ Mm. dicken), mit Seide übersponnenen Kupferdrahtes gebildete Neben- oder Inductionsspirale.

Fig. 451.



Die Drahtenden dieser Spirale sind mit den Klemmschrauben *a* und *b* versehen, von welchen aus Leitungsdrähte zu den Drahtenden des Multiplicators *M* geführt sind.

In die Höhlung der Inductionsspirale *A* ist nun die Hauptspirale *B* eingeschoben, welche durch die weniger zahlreichen Windungen eines

dickeren (ungefähr 2 Mm.) Kupferdrahtes gebildet wird. Die Drahtenden der Hauptspirale sind mit den Klemmschrauben c und d versehen, in welchen die zu den Polen des Rheomotors führenden Drähte eingeschraubt werden können.

In unserer Figur sind die Spiralen A und B im Verhältniss zum Elektromotor E und zum Multiplicator M zu gross dargestellt. Der Multiplicator M muss bei Anstellung des Versuchs hinreichend weit weggestellt sein, damit der Strom in der Spirale B nicht direct auf die Nadel des Multiplicators einwirken kann.

So oft man nun die Verbindung zwischen der Spirale B und einem der Pole des Elektromotors E unterbricht, wird die Multiplicatornadel nach einer bestimmten Richtung abgelenkt. Ist die Nadel wieder zur Ruhe gelangt, so erfolgt ein Ausschlag nach der entgegengesetzten Richtung, wenn die unterbrochene Verbindung zwischen der Hauptspirale und dem Elektromotor wieder hergestellt wird.

Um die Verbindung zwischen der Hauptspirale und dem Elektromotor bequem herzustellen und unterbrechen zu können, schaltet man auf dem Wege von dem einen Pole der Säule zur einen Klemmschraube der Hauptspirale, also etwa zwischen n und d, ein Quecksilbernäpfchen ein. Ist der von n kommende Draht in das Näpfchen eingetaucht, so wird der Strom geschlossen, wenn man den in d eingeschraubten Zuleitungsdraht gleichfalls in das Quecksilber eintaucht, er wird unterbrochen, wenn man ihn herauszieht.

Wenn ein Strom im Hauptdraht circulirt, so bewirkt jede plötzliche Verstärkung desselben die Induction eines entgegengesetzt gerichteten Stroms im Nebendraht, während eine plötzliche Abnahme der Stromstärke im Hauptdraht einen gleichgerichteten Strom im Nebendraht inducirt.

Ganz ebenso wie eine Zu- oder Abnahme der Stromstärke im Hauptdraht wirkt nun auch eine Annäherung oder Entfernung des durchströmten Hauptdrahts vom Nebendraht. — Um dies zeigen zu können, müssen die Verbindungsdrähte nd und pc lang genug sein, um die Hauptspirale B ohne Unterbrechung des Hauptstroms bequem aus der Höhlung der Nebenspirale ausziehen und einschieben zu können.

Wenn man die durchströmte Hauptspirale rasch in die Höhlung der Nebenspirale einschiebt, so zeigt die Ablenkung der Multiplicatornadel einen dem Hauptstrom entgegengesetzt gerichteten Strom in der Nebenspirale an; wenn dagegen die durchströmte Hauptspirale aus der Nebenspirale herausgezogen wird, so inducirt sie im Nebendraht einen dem Hauptstrom gleichgerichteten Strom.

Man kann zu diesem Versuch auch sehr bequem den später zu besprechenden Schlittenapparat von du Bois Reymond anwenden. Wenn die Enden einer der Buff'schen Bandspiralen, Fig. 342 S. 369, mit dem Multiplicator, die Enden der anderen mit den Polen eines Bunsen'schen Bechers verbunden sind, so braucht man nur die durchströmte

Bandspirale der anderen zu nähern oder von derselben zu entfernen, um die dadurch inducirten Ströme am Multiplicator beobachten zu können.

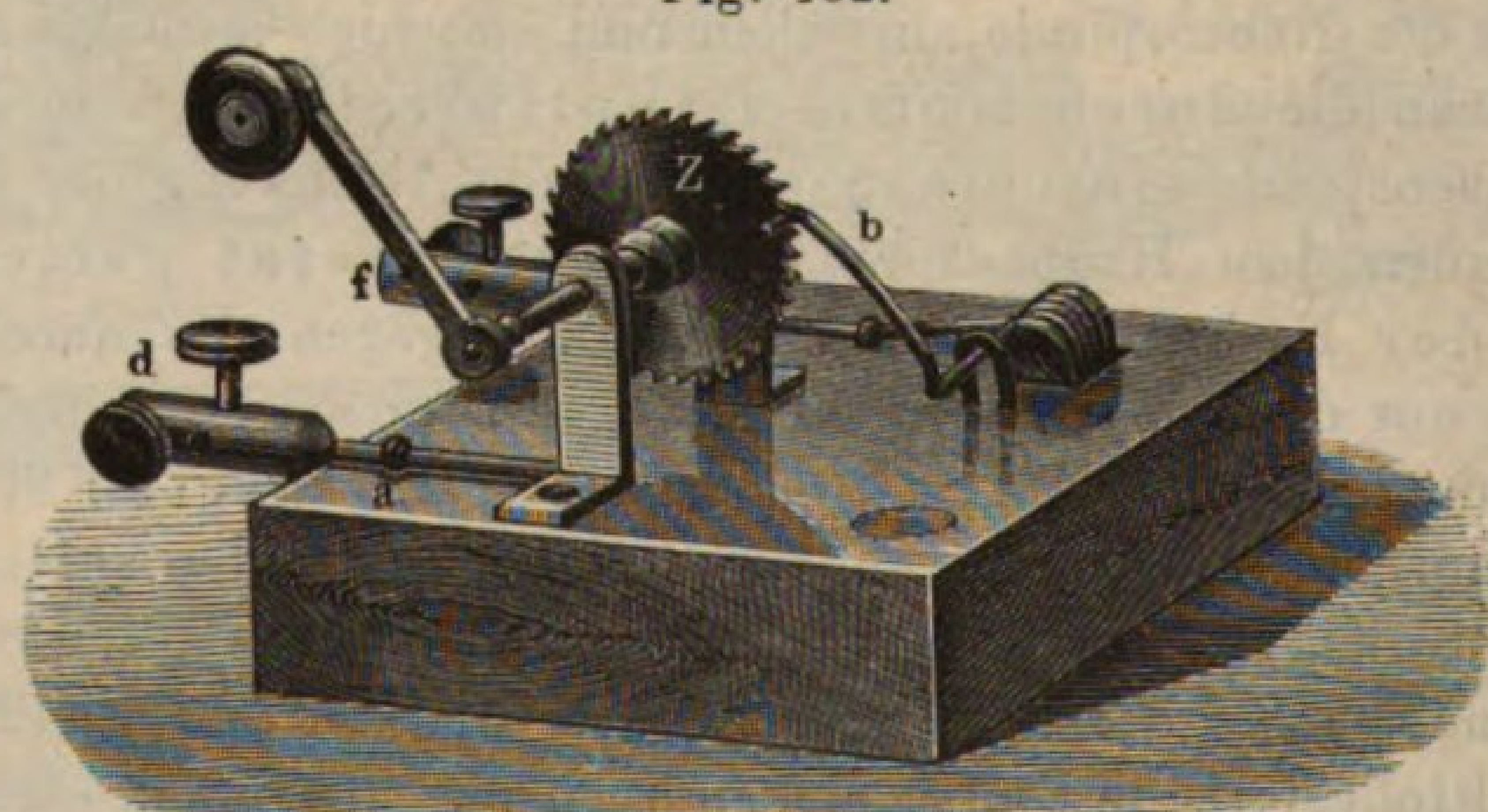
Ueberhaupt wird in jedem geschlossenen Leiter ein Strom inducirt, wenn man die Stellung eines in seiner Nähe befindlichen durchströmten Leiters irgend wie verändert. Die Richtung des inducirten Stromes ist durch das folgende von Lenz ausgesprochene Gesetz bestimmt: Wird die relative Lage zweier Leiter A und B, von denen der erste A von einem Strom durchflossen ist, geändert, so wird in B ein Strom von solcher Richtung inducirt, dass er durch seine elektrodynamische Wirkung auf den Strom in A den Leitern eine Bewegung ertheilt haben würde, welche derjenigen entgegengesetzt ist, durch welche der Inductionsstrom hervorgerufen wurde.

Die Existenz der Inductionsströme und ihre Richtung lässt sich, wie wir gesehen haben, dadurch nachweisen, dass man ein Galvanometer zur Schliessung der Nebenspirale anwendet; diese Inductionsströme bringen aber auch alle anderen Erscheinungen galvanischer Ströme, vor allen Dingen aber sehr kräftige physiologische Wirkungen hervor. Um die Schläge der Inductionsströme durch den Körper gehen zu lassen, braucht man bloss die Drahtenden der Nebenspirale mit metallenen Griffen zu versehen und diese in die etwas befeuchteten Hände zu nehmen. So oft nun der Hauptstrom geöffnet oder geschlossen wird, erhält man einen Schlag.

166 **Unterbrechungs-Vorrichtungen.** Um die physiologische Wirkung recht fühlbar zu machen, muss man eine Reihe von Oeffnungs- und Schliessungsschlägen in rascher Aufeinanderfolge durch den Körper senden. Man hat zu diesem Zweck verschiedene Vorrichtungen construirt, welche man Rheotome nennen kann und von denen wir die zweckmässigsten näher betrachten wollen.

Das einfachste Rheotom ist wohl das Unterbrechungsrad, Fig. 452. Auf einem Holzklotz stehen zwei Messingpfeiler, welche die

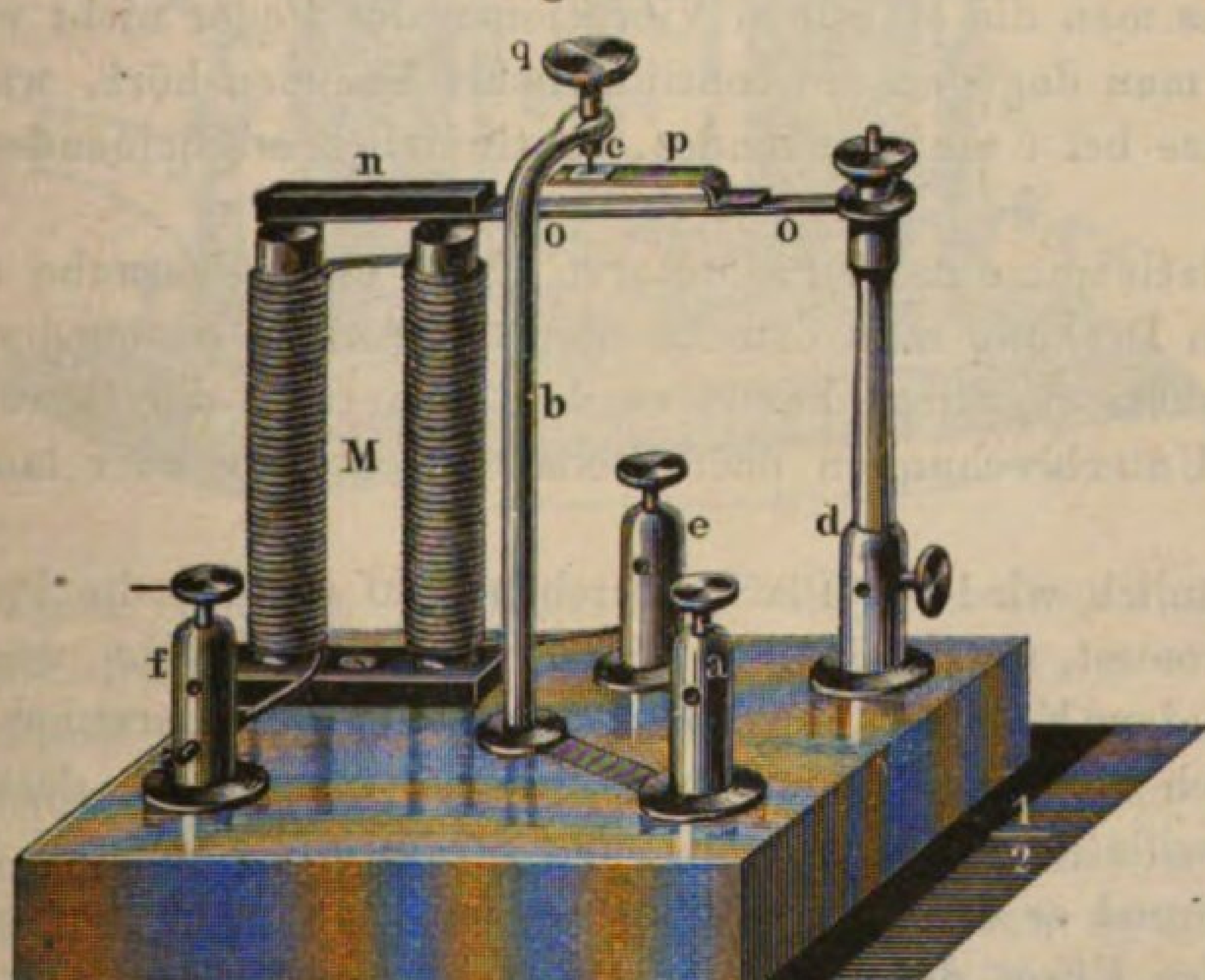
Fig. 452.



metallene Axe eines messingenen Zahnrades *Z* tragen, dessen Zähne so geschnitten sind, wie die Zähne des Steigrades einer gewöhnlichen Pendeluhr. An dem einen Messingpfeiler ist der Kupferdraht *a* befestigt, während ein zweiter Kupferdraht *b* federnd gegen das Rad drückt. Um das Unterbrechungsrad sammt der Hauptspirale in den Schliessungsbogen des elektromotorischen Bechers einzuschalten, braucht man nur das eine Ende der Spirale mit dem positiven Pole des Bechers, das andere mit der Schraubklemme *d*, Fig. 452, zu verbinden und dann von der Schraubklemme *f* einen Draht zum negativen Pole des Elektromotors zu führen. So oft nun bei Umdrehung des Rades der federnde Draht *b* von einem Zahne zum anderen überspringt, erfolgt ein Oeffnen und ein alsbaldiges Wiederschliessen der Kette.

Eine zweite Hauptform des Rheotoms ist der von De la Rive in Genf, und unabhängig davon von Wagner in Frankfurt a. M. erfundene magnetische Hammer, bei welchem die Unterbrechung mittelst eines Elektromagnets durch den Hauptstrom selbst bewirkt wird. Ursprünglich war der magnetische Hammer mit dem Inductionsapparate zu einem untrennbaren Ganzen vereinigt worden, wie wir dies bei einem später zu beschreibenden Apparate sehen werden; der magnetische Hammer kann aber auch als eine ganz selbstständige Unterbrechungsvorrichtung construirt werden, so dass man ihn von dem einen Apparate wegnehmen und

Fig. 453.



mit einem anderen verbinden kann, wie dies auch mit dem Unterbrechungsrade der Fall ist. Fig. 453 stellt einen solchen, einen selbstständigen Apparat bildenden magnetischen Hammer dar, und zwar mit den neuesten Verbesserungen, welche Poggendorff daran angebracht hat.

Der eine Poldraht des Rheomotors, etwa der positive, wird in das Messingsäulchen *a*, der andere in *f* eingeschraubt, während das eine

Drahtende der Hauptspirale des Inductionsapparates bei *d*, das andere bei *e* eingeschraubt wird. Der Strom geht nun von *a* durch einen in das Holz eingelassenen Messingstreifen zur Messingsäule *b*, dann durch die Platinspitze *c* auf ein Platinplättchen, welches auf die Messingfeder *p* aufgelöthet ist, und dann herab bis *d*, um in die Hauptspirale überzugehen. Aus der Hauptspirale gelangt dann der Strom über das Säulchen *e* in die Windungen des Elektromagnets *M* und aus diesen zum Säulchen *f*, in welches der andere Pol des elektromotorischen Bechers eingeschraubt ist.

Sobald der Strom die Windungen des Elektromagnets *M* durchläuft, wird dessen Eisenkern magnetisch, so dass er den eisernen Anker *n* anzieht, welcher auf dem einen Ende der messingenen Feder *o* befestigt ist; durch das Niederziehen des Ankers *n* wird auch *p* mit seinem Platinplättchen etwas niedergezogen und dadurch die Berührung zwischen diesem Platinplättchen und der Platinspitze *c* aufgehoben, was dann auch eine Unterbrechung des Stromes in der Hauptspirale und in den Windungen des Elektromagnets *M* zur Folge hat.

Mit der Unterbrechung des Stromes verliert auch der Elektromagnet *M* seinen Magnetismus und die Kraft der Feder *o* zieht dann sogleich den Anker *n* wieder in die Höhe, wodurch denn zugleich auch die metallische Berührung bei *c* wieder hergestellt wird und das eben beschriebene Spiel von Neuem beginnt.

Die Unterbrechungen des Stromes folgen sich hier mit solcher Schnelligkeit, dass man die einzelnen Vibrationen der Feder nicht wahrnehmen kann, dass man dagegen ein continuirliches Summen hört, während man an der Spitze bei *c* ein glänzendes, continuirlich erscheinendes Fünkchen beobachtet.

Die Platinspitze *c* ist am unteren Ende einer Schraube angebracht, durch deren Drehung man den Abstand des Ankers *n* von den Polen des Elektromagnets reguliren kann, so dass man es in der Gewalt hat, das Spiel der Unterbrechungen nach Belieben schneller oder langsamer zu machen.

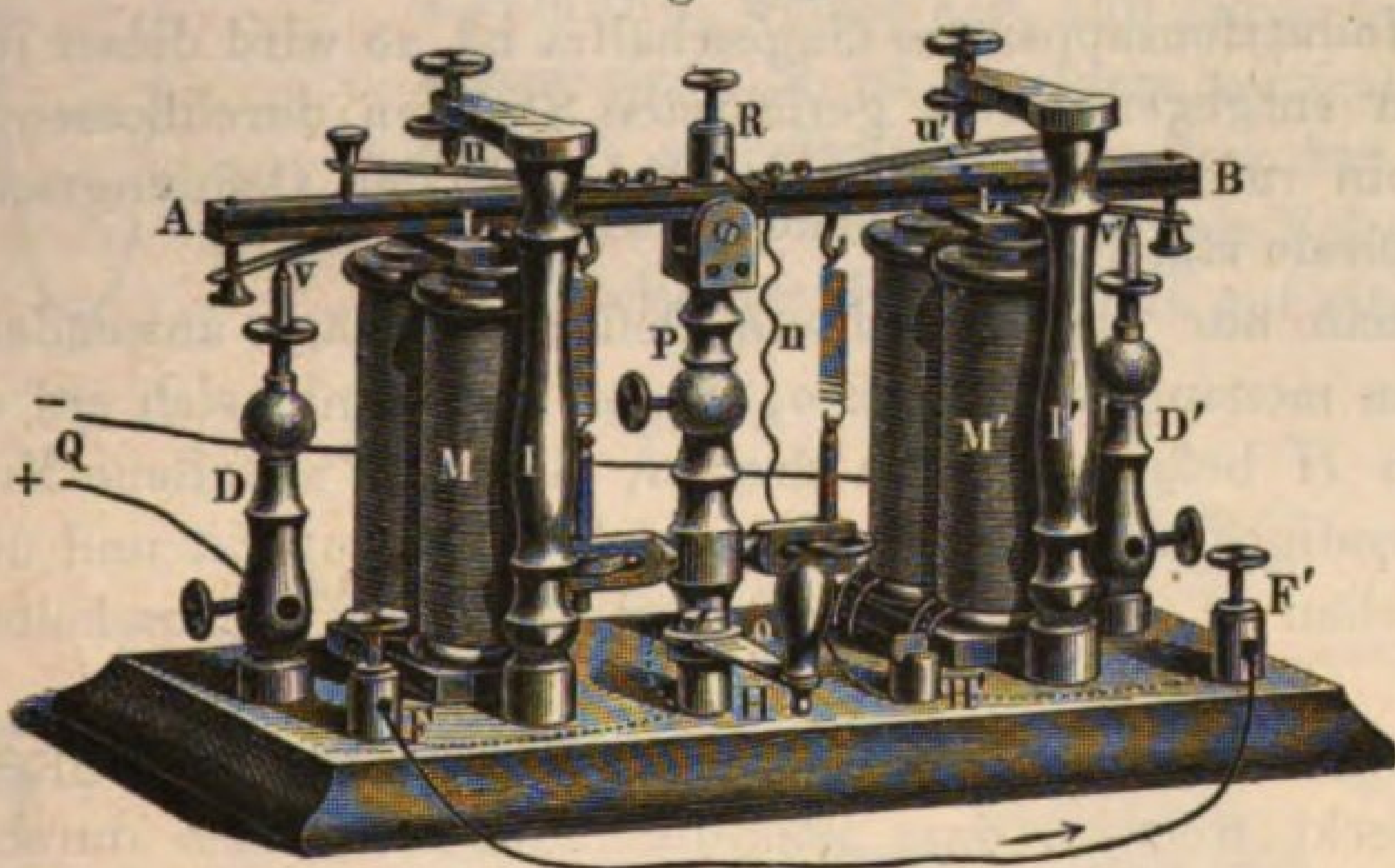
Gewöhnlich wird das Platinplättchen, auf welches die Platinspitze *c* zu stehen kommt, unmittelbar auf der Feder *o* angebracht, was zur Folge hat, dass in dem Moment, in welchem der Anker *n* niederzugehen beginnt, auch sogleich die Unterbrechung des Stromes stattfindet, dass also während der Oscillationen des Hammers der Strom nur momentan geschlossen bleibt, während er dagegen längere Zeit unterbrochen ist. — Nun aber ist es für den Effect der Inductionsapparate weit vortheilhafter, dass bei gleicher Oscillationsgeschwindigkeit des Hammers der Strom längere Zeit geschlossen bleibe und nur momentan unterbrochen werde. Poggendorff hat dies durch die zweite Feder *p* erreicht, welche so justirt ist, dass sie die Platinplatte noch mit einiger Federkraft gegen die Platinspitze *c* andrückt, wenn die Feder *o* in ihrer Gleichgewichtslage sich befindet; es hat dies zur Folge, dass der Anker *n* schon eine Strecke abwärts gehen kann, ehe eine Unterbrechung bei *c* erfolgt, und dass das Schliessen des

Stromes schon wieder erfolgt, wenn *n* kaum seine aufgehende Bewegung begonnen hat.

Der eiserne Anker *n* darf nicht in unmittelbare Berührung mit den Polen des Elektromagnets *M* kommen, weil sonst selbst nach Unterbrechung des Stromes der remanente Magnetismus in den Eisenkernen zu stark werden würde, als dass die Feder *o* den Anker *n* wieder in die Höhe ziehen könnte. Bei unserem Apparate wird dies einfach dadurch verhindert, dass die Messingfeder *o* noch so weit reicht, dass sie die Pole des Elektromagnets bedeckt, und dass der Anker *n* auf das freie Ende dieses Messingstreifens aufgesetzt ist, so dass sich selbst bei dem tiefsten Stande des Ankers *n* noch ein Streifen Messingblech zwischen demselben und den Polen des Elektromagnets *M* befindet.

Für Heilzwecke ist es oft wünschenswerth, den Oeffnungsschlag des Inductionsapparates in abwechselnder Richtung durch den Körper gehen zu lassen, was durch den von Busch in Berlin (Gressler und Comp.) ausgeführten Stempelmann'schen commutirenden Doppelunterbrecher, Fig. 454, bewerkstelligt werden kann. Die in der Mitte

Fig. 454.



eines Brettchens stehende Messingsäule *P* trägt in einer Gabel den um einen Zapfen drehbaren Querbalken *AB*, welcher aus zwei durch eine isolirende Platte getrennten Messingstreifen besteht. An dem unteren dieser Messingstreifen sind die Metallfedern *v* und *v'* (der Feder *p* in Fig. 453 entsprechend), an dem oberen sind die Federn *u* und *u'* befestigt. Ausserdem trägt der untere Messingstreifen noch die beiden eisernen Anker *L* und *L'*, welche zu den Elektromagneten *M* und *M'* gehören.

Es sei nun in die Messingsäule *D* der positive, in *D'* der negative Poldraht der Stromquelle *Q* eingeschraubt und der Hebel *AB* habe für einen bestimmten Augenblick eine solche Lage, dass sich das Ende *A* in seiner tiefsten, *B* aber in seiner höchsten Stellung befindet, so sind die Federn *u* und *v'* nicht in Berührung mit ihren Platinspitzen und der positive Strom circulirt in folgender Weise durch den Apparat:

Von D gelangt er über v nach P, von P zu den Messingsäulchen H und F, um alsdann in der Richtung des kleinen Pfeils einen zwischen den Messingsäulchen F und F' eingeschalteten Leiter zu durchlaufen. Von F' geht der Strom nach H', von da durch den Draht n zur Klemmschraube R, welche auf dem oberen Messingstreifen des Hebels AB befestigt ist, durch die Feder u' zu der sie berührenden Platinspitze, durch die Messingsäule I' und durch die Windungen des Elektromagnets M', um endlich über die Messingsäule D' zum negativen Pol von Q zurückzukehren.

Der Elektromagnet M' zieht aber jetzt seinen Anker L' an, B wird gesenkt und A gehoben, dadurch wird die metallische Berührung bei v und u' unterbrochen und nun circulirt der positive Strom wie folgt: von D geht er durch die Windungen des Elektromagnets M, von diesem über die Messingsäule I und die Feder u nach R, von R nach H' und F', von F' nach F u. s. w.; er durchläuft also jetzt den zwischen F und F' eingeschalteten Leiter in einer Richtung, welche der des kleinen Pfeils entgegengesetzt ist.

Wenn nun in den Schliessungsbogen zwischen F und F' die Hauptspirale des Inductionsapparates eingeschaltet ist, so wird dieser in raschem Wechsel von entgegengesetzt gerichteten Strömen durchflossen, es wird also auch ein rascher Wechsel der Richtung der Oeffnungsschläge der Inductionsspirale stattfinden.

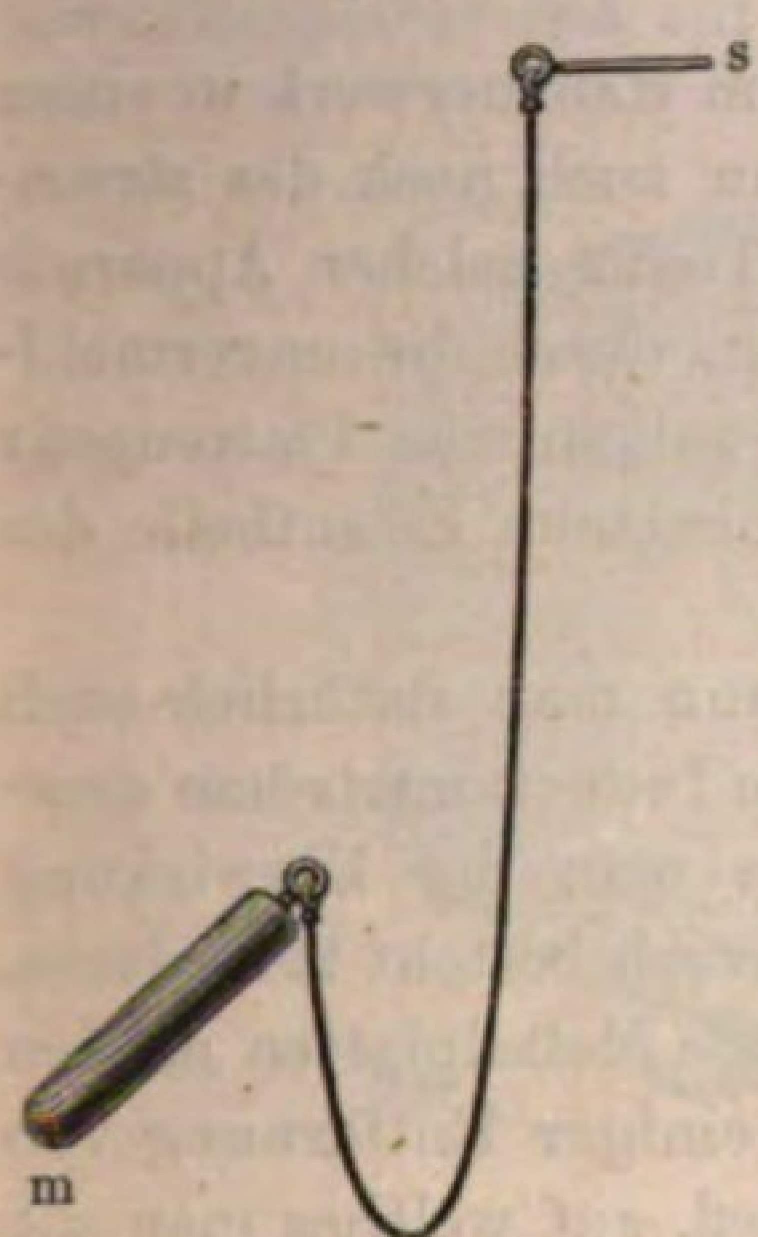
Will man nur gleichgerichtete Oeffnungsschläge anwenden, so hat man nur den messingenen Hebel o, dessen Drehpunkt sich auf dem Messingsäulchen H befindet, so zu drehen, dass der metallene Knopf, mit welchem o endigt, auf dem Messingsäulchen H' aufsitzt und die Hauptspirale zwischen Q und D oder zwischen Q und D' einzuschalten.

167 **Inductionsapparate für physiologische Zwecke.** Es ist bereits bemerkt worden, dass sich die Inductionsströme durch kräftige physiologische Wirkungen auszeichnen, weshalb denn auch die Inductionsapparate für physiologische Untersuchungen sowohl als auch für medicinische Zwecke eine grosse Bedeutung erlangt haben. Man hat deshalb auch Inductionsapparate in verschiedenen Formen construirt, von denen wir nur die einfachsten und zweckmässigsten betrachten wollen.

Um die physiologischen Wirkungen der Inductionsströme in Vorlesungen zu zeigen, kann man sich der schon beschriebenen Drahtspiralen, Fig. 451 Seite 486, bedienen. Zwischen dem Rheomotor E und der Hauptspirale B wird ein Rheotom, etwa das Unterbrechungsrad, Fig. 452, in der Weise eingeschaltet, dass man den Pol p, Fig. 451, mit der Schraubklemme d, Fig. 452, die Schraubklemme c der Hauptspirale, Fig. 451, aber mit der Schraubklemme f des Unterbrechungsrades durch einen Draht verbindet. Ferner wird der Multiplicator M, Fig. 451, entfernt und statt dessen in jede der Schraubklemmen a und b der Nebenspirale A, Fig. 451, ein Handgriff von der Fig. 455 abgebildeten Einrichtung

eingeschraubt. Von dem Metallstifte s, welcher in die entsprechende Schraubklemme eingesteckt wird, führt ein Bündel Metallfäden, welches mit Seide oder Wolle übersponnen ist, zu dem hohlen Metallcylinder m. Derjenige, welcher die Inductionsströme durch seinen Körper will gehen lassen, fasst mit einer Hand den Handgriff, welcher in a eingeschraubt ist, mit der anderen den in b eingeschraubten, und erhält dann die elektrischen Schläge, sobald der Stromunterbrecher in Gang gesetzt wird.

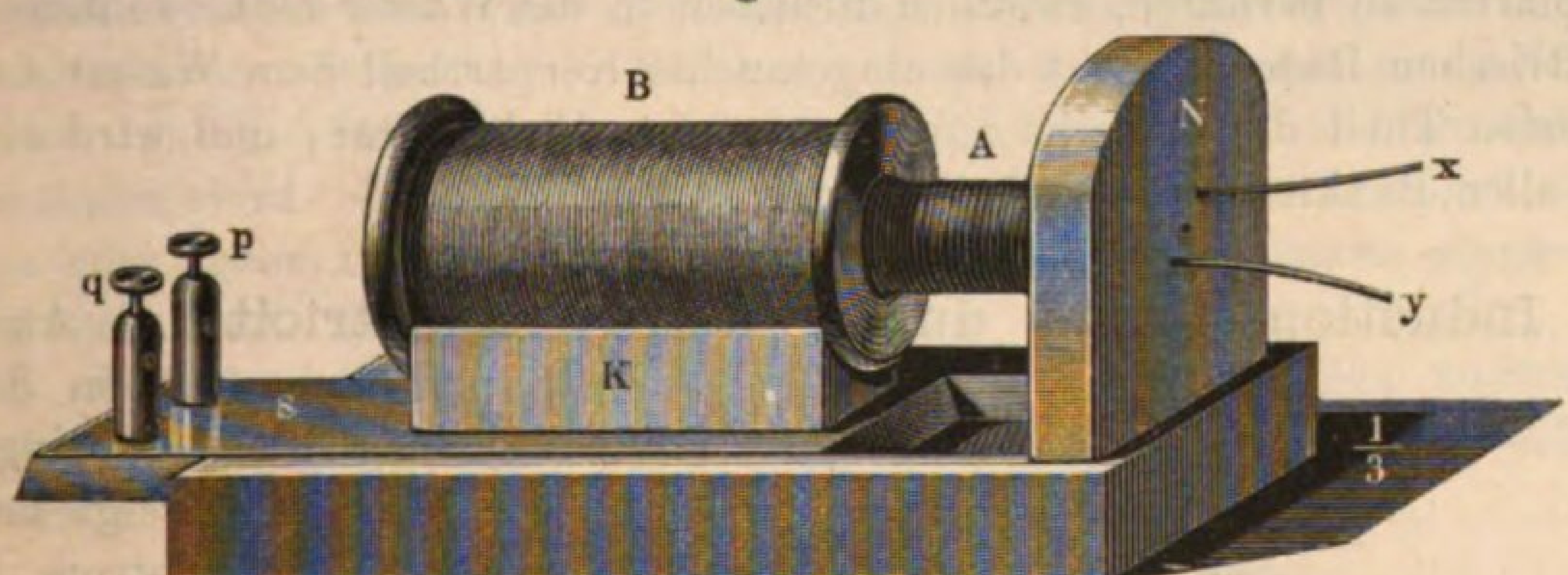
Fig. 455.



Um die physiologische Wirkung dieser Vorrichtung zu steigern, wird ein Bündel Eisenstäbchen, ungefähr so dick wie ein Strickstock, in die Höhlung der Hauptspirale eingeschoben. Wir werden auf die Wirkung dieser Eisenstäbchen bald ausführlicher zurückkommen.

Für praktische Zwecke ist es wünschenswerth, dass Haupt- und Nebenspirale auf geeignete Weise ein- für allemal mit einander verbunden sind. Eine besonders zweckmässige Vorrichtung der Art ist der Schlittenapparat von Du Bois-Reymond, welche Fig. 456 dargestellt ist. Die Hauptspirale A ist an einem vertical stehenden Brett N so befestigt, dass ihre Axe horizontal steht; die gleichfalls horizontale Nebenspirale B ist mittelst des Holzklotzes K auf einem Brett S

Fig. 456.



befestigt, welches nach Belieben vor- und rückwärts geschoben werden kann. Wenn das Brett S ganz eingeschoben ist, so ist die Hauptspirale ihrer ganzen Länge nach von der Nebenspirale umgeben, der Strom in der Hauptspirale kann also seine volle Wirkung auf die Nebenspirale ausüben; wenn aber das Brett S mehr und mehr ausgezogen wird, so dass ein Theil der Hauptspirale frei ist, wie die Figur zeigt, so kann der Strom in der Hauptspirale nur noch schwach inducirend auf die Nebenspirale wirken. Auf diese Weise ist man also durch Vor- und Rückwärtsschieben des Brettes S im Stande, die Stärke der Inductionsströme nach Belieben zu reguliren.

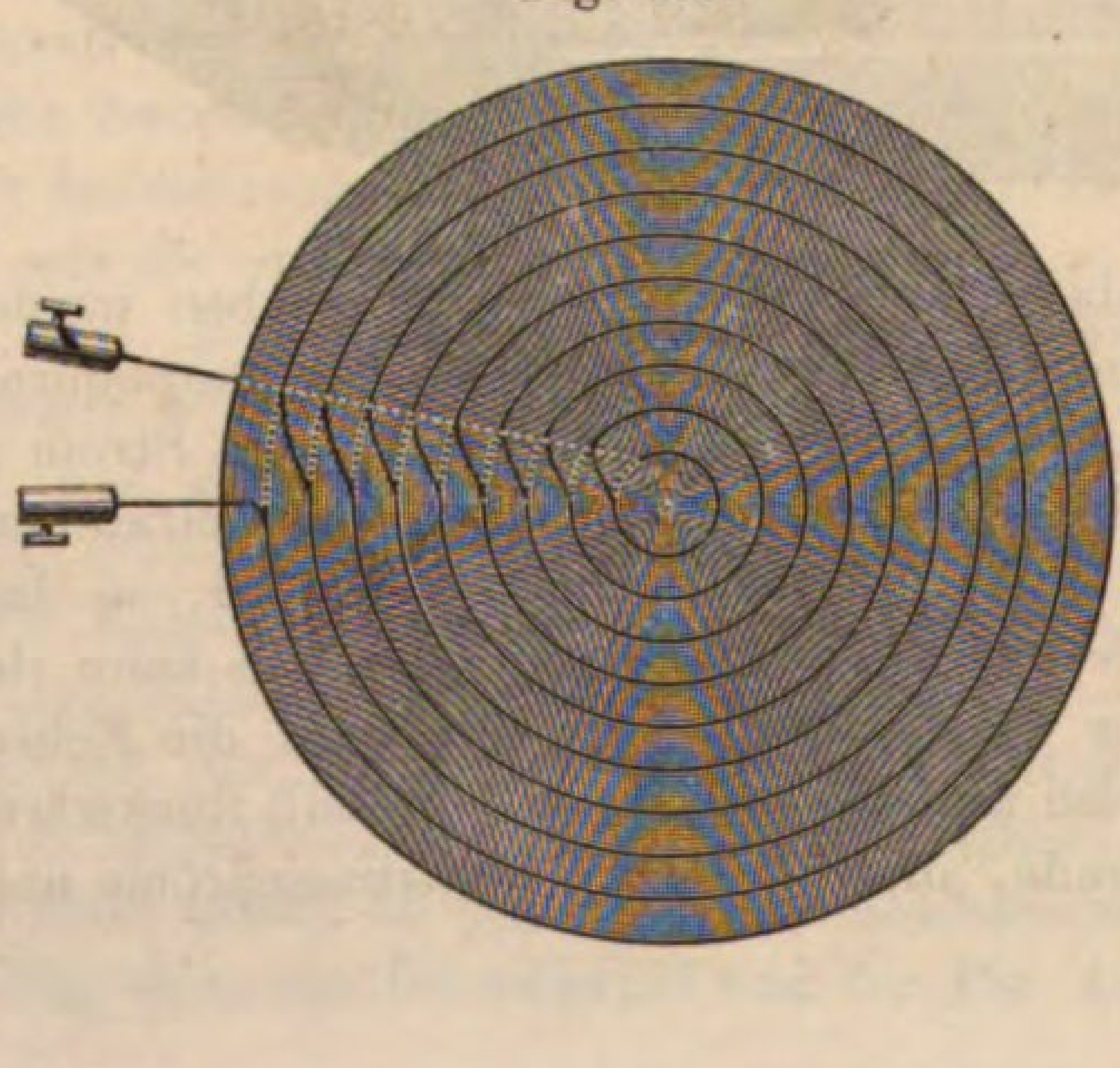
Die Drahtenden x und y der Hauptspirale werden mit dem Elektromotor und dem Rheotom in Verbindung gesetzt. Die Drahtenden der Nebenspirale sind in Rinnen an der unteren Seite des Brettes S wohlverwahrt bis zu den Messingsäulchen p und q fortgeführt und an denselben festgelöthet. In die Messingsäulchen p und q werden endlich die Handgriffe eingeschraubt. Gewöhnlich wird der oben beschriebene Schlittenapparat mit einem magnetischen Hammer, von der Fig. 453 Seite 489 abgebildeten Art, auf einem und demselben Brette zu einem Ganzen verbunden.

Häufig werden die beiden Spiralen sammt dem Hammerwerk in einen gemeinschaftlichen Kasten vereinigt, welcher dann auch noch das stromerregende Plattenpaar enthält. Die einzelnen Theile solcher Apparate sind in der Regel weniger sichtbar und zugänglich, durch die unvermeidliche Einwirkung der Säuren, durch welche das galvanische Plattenpaar in Thätigkeit gesetzt wird, sind aber die verschiedenen Eisentheile des Apparates einem starken Rosten ausgesetzt.

Statt der oben beschriebenen Handgriffe kann man natürlich auch andere Zuleitungsvorrichtungen anwenden, um die Inductionsströme demjenigen organischen Körper zuzuführen, welchen man der Einwirkung dieser Ströme aussetzen will; ein interessanter Versuch besteht z. B. darin, dass man statt der Handgriffe zwei etwa handgrosse Metallplatten an den Enden der Inductionsspirale befestigt, diese in einiger Entfernung von einander in Wasser eingetaucht und dann das Glied, auf welches man die Elektricität will wirken lassen, also beispielsweise die Hand, ohne die Polplatten zu berühren, zwischen dieselben in das Wasser hält. In diesem elektrischen Bade entzieht der eingetauchte Körpertheil dem Wasser den grössten Theil der dasselbe durchströmenden Elektricität, und wird also auf allen Punkten auf das Lebhafteste erregt.

168 **Inductionsströme durch Reibungselektricität.** Auch der Entladungsstrom der Leydener Flasche bringt, wie Masson gezeigt hat, einen Inductionsstrom in einem benachbarten Drahte hervor, wie man dies am besten mit den von Riess construirten ebenen Inductionsspiralen zeigen kann. In einem dicken Brett, welches sich nicht verzieht, sind concentrische Ringe eingeschnitten, Fig. 457, und durch gekrümmte Einschnitte zu einer spiral-

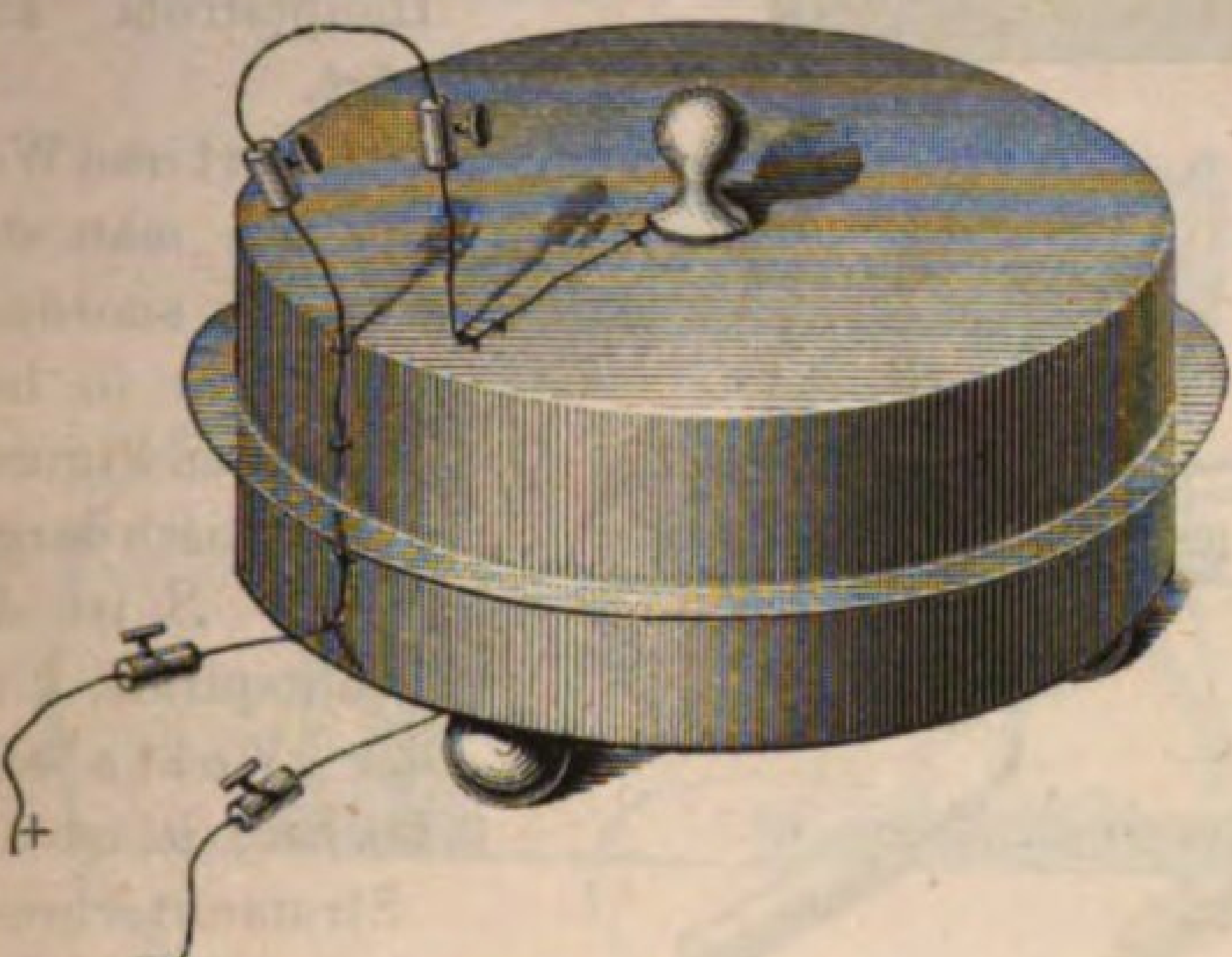
Fig. 457.



förmigen Figur vereinigt. In diese spiralförmige Rinne wird dann ein Kupferdraht eingelassen und durch Pech gehörig isolirt befestigt. Auf einem zweiten Brette ist in ganz gleicher Weise ein Kupferdraht so befestigt, dass, wenn man die mit den Windungen versehenen Seiten einander zukehrt, die Windungen des einen Brettes denen des anderen genau parallel sind.

Fig. 458 zeigt, wie man zwei solche Scheiben am bequemsten zusammenstellt. Auf die horizontale Oberfläche der unteren wird zunächst eine Glasplatte und auf diese dann die zweite Scheibe in der angegebenen Weise aufgelegt. Wenn man in die Klemmschrauben der oberen Scheibe Drähte einschraubt und deren Enden bis auf 1 oder 2 Linien nähert, so springt durch diesen Zwischenraum ein Funken über, wenn man den Entladungsschlag einer Leydener Flasche durch die Windungen der unteren hindurchsendet.

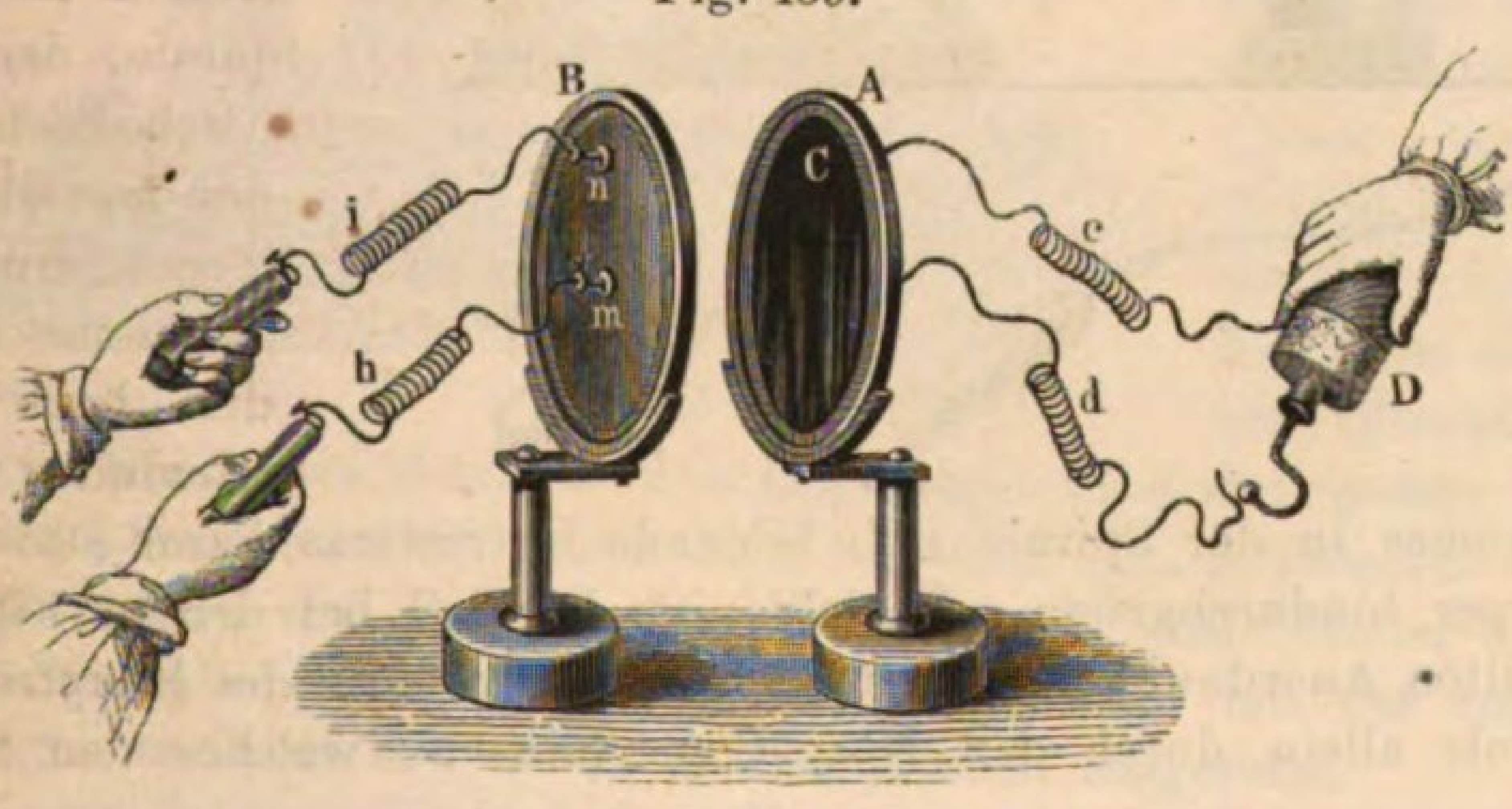
Fig. 458.



Wenn man in die Klemmschrauben der oberen Scheibe Handgriffe von der Fig. 455 dargestellten Art einsetzt und diese mit befeuchteten Händen anfasst, so erhält man einen Schlag, wenn eine Leydener Flasche durch die Windungen der anderen Scheibe entladen wird. Dieser Schlag ist aber sehr schwach, weshalb nicht mehr als eine Person in den Schliessungsbogen der Inductionsspirale eingeschaltet sein darf.

Um den Abstand der beiden Scheiben nach Belieben ändern zu können, kann man sie auch vertical aufstellen, wie dies Fig. 459 erläutert.

Fig. 459.



169 **Der Extrastrom.** Schliesst man ein einfaches galvanisches Element durch eine Spirale, welche durch viele Windungen eines übersponnenen Kupferdrahtes gebildet ist, bringt man alsdann zwei Handhaben so an, dass nach Unterbrechung des Stromes die Spirale durch den menschlichen Körper geschlossen ist, welcher die Handgriffe fasst, so erhält man im Moment der Oeffnung der Kette einen mehr oder weniger heftigen, von dem sogenannten Extrastrom herrührenden Schlag, welcher in der Spirale entsteht in dem Augenblick, in welchem der Hauptstrom aufhört.

Fig. 460.

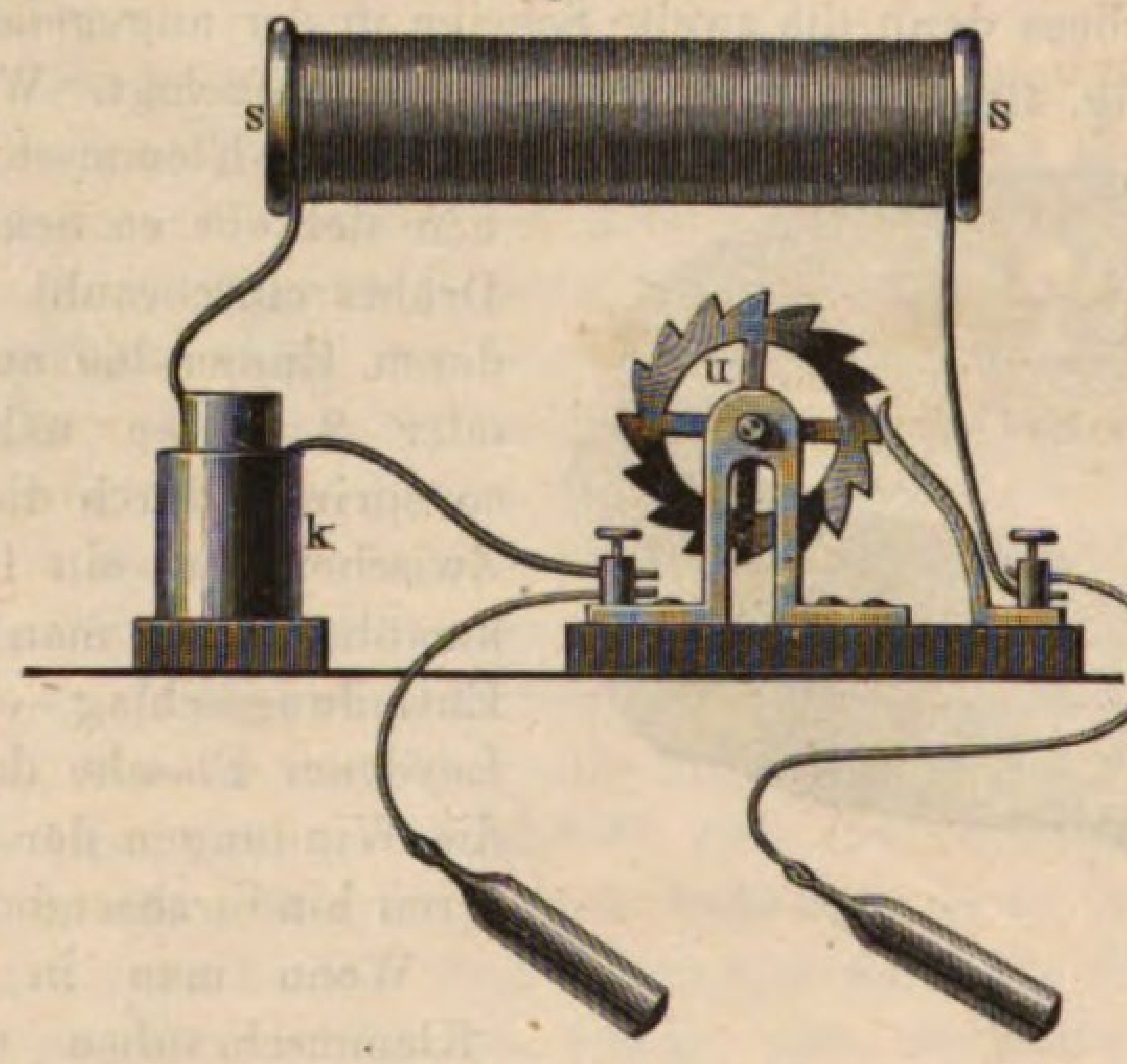
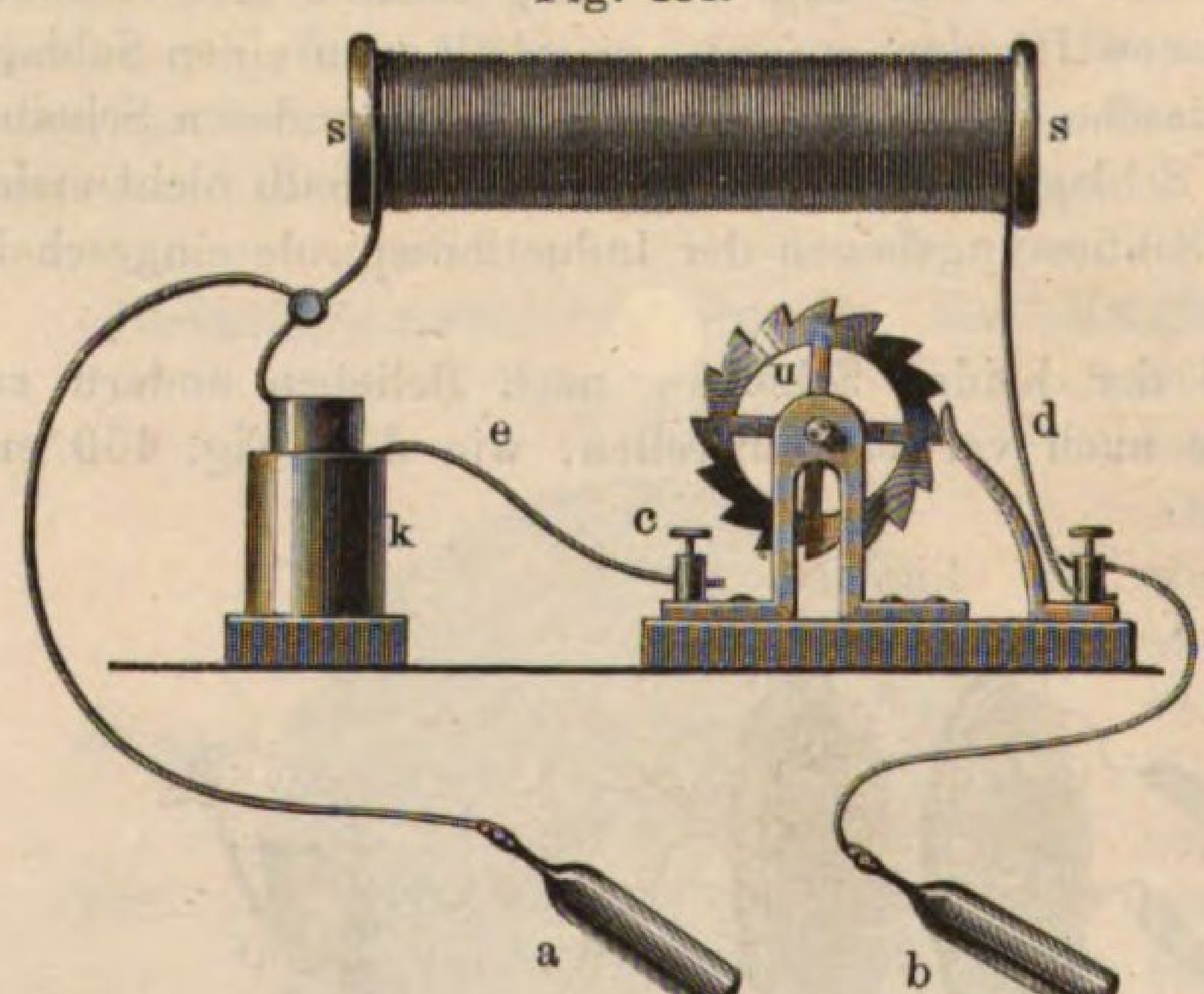


Fig. 461.



Die Art und Weise, wie man den Versuch anordnen kann, ist in beistehenden Figuren schematisch dargestellt. *S* ist die Drahtspirale, *k* ist der Volta'sche Becher; *u* ist der Stromunterbrecher, für welchen man auch das in Fig. 453 dargestellte Rheotom anwenden kann. Sind die Handgriffe angebracht wie in Fig. 460, so bildet nach Unterbrechung des Hauptstromes noch die Spirale, der Volta'sche Becher und der menschliche Körper eine geschlossene Kette; der beim Verschwinden des Hauptstromes in der Spirale sich bildende Extrastrom kann also durch den Körper hindurchgehen. Dasselbe ist der Fall bei der in Fig. 461 dargestellten Anordnung; hier ist nach Unterbrechung des Hauptstromes die Spirale allein durch den Körper geschlossen, welcher den Schlag

erhält; der Volta'sche Becher ist hier ausgeschaltet. Bei der Anordnung Fig. 462 endlich erhält man keinen Schlag, weil nach Unterbrechung des Hauptstromes nur der Volta'sche Becher noch durch den Körper geschlossen, die den Extrastrom erzeugende Spirale aber ausgeschaltet ist.

Um die in Fig. 460 dargestellte Combination leicht herstellen zu können, sind die Messingsäulchen *a* und *f* des Unterbrechungsrades Fig. 452 so eingerichtet, dass man in jedes derselben zwei Zuleitungsdrähte einschrauben kann.

Fig. 463 stellt eine Extrastromspirale dar, welche mit dem elektromagnetischen Hammer zu einem System verbunden ist, und welche sich vorzugsweise eignet, um kräftige physiologische Wirkungen hervorzubringen.

Fig. 462.

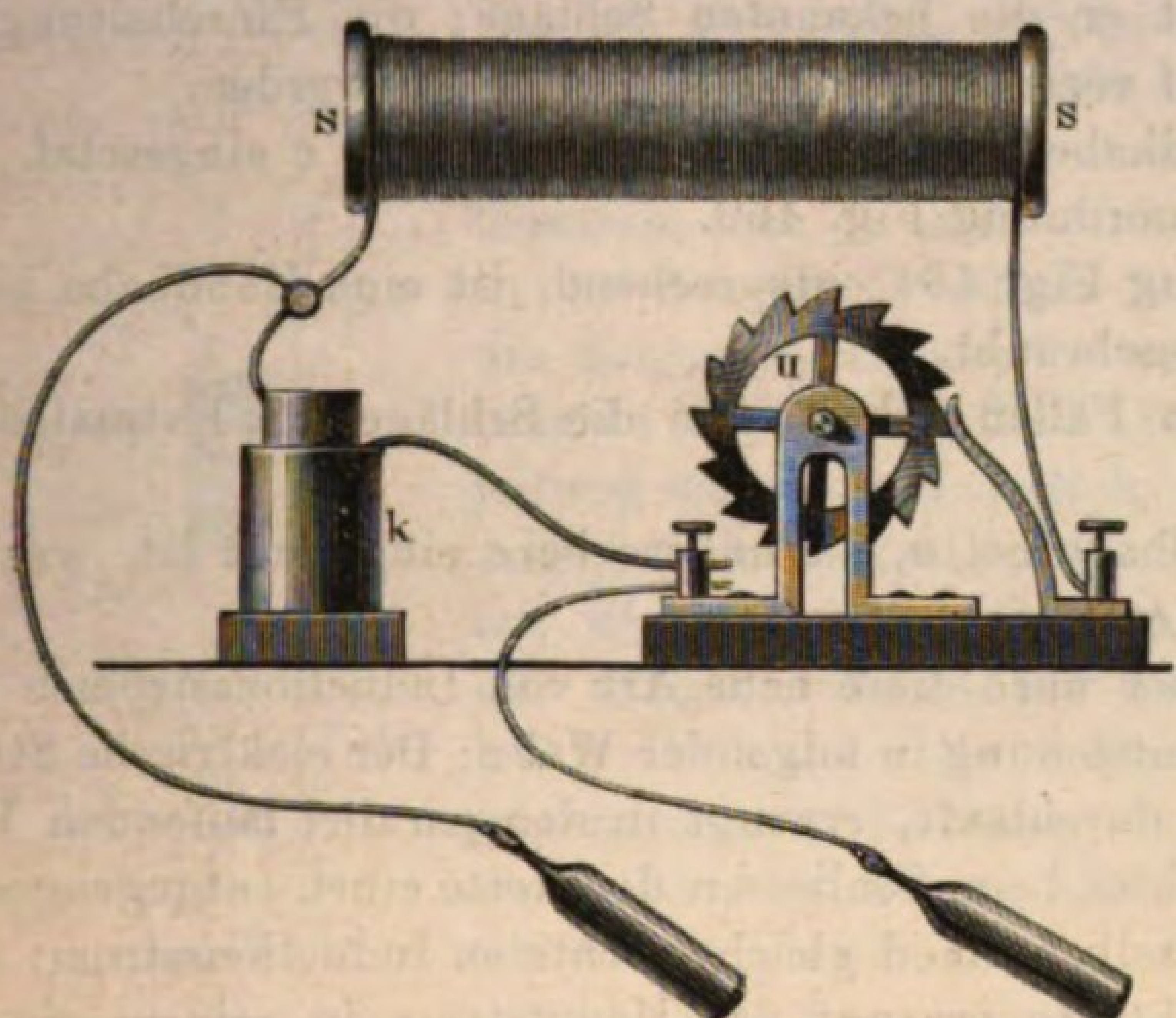
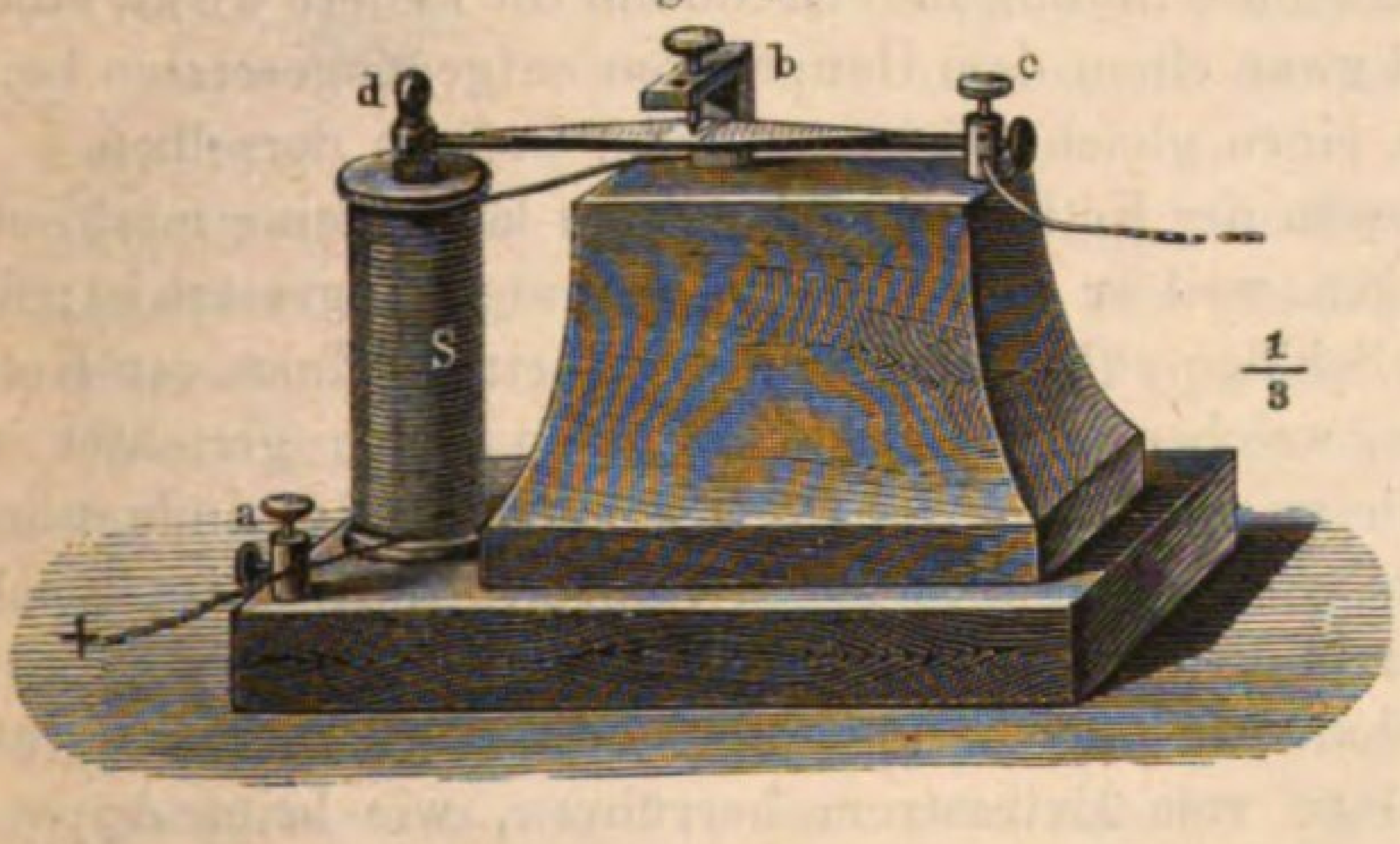


Fig. 463.



S ist die Spirale von dünnem übersponnenen Kupferdraht, welcher auf eine Hülse von Holz gewickelt ist. Die beiden Drahtenden dieser Spirale führen zu den Messingständern *a* und *b*. Im Inneren der Holzhülse befindet sich ein Bündel von Eisendrähten.

In dem Messingsäulchen *c* ist ein federnder Kupferstreifen befestigt, dessen anderes Ende in einem kleinen Zwischenraum über dem erwähnten Drahtbündel ein eisernes Knöpfchen *d* trägt. Die Kupferfeder drückt ungefähr in der Mitte ihrer Länge schwach gegen eine von oben herabkommende Platinspitze an, welche sich am unteren Ende einer in dem Ständer *b* angebrachten Schraube befindet. Da, wo die Kupferfeder mit der Spitze in Berührung kommt, ist ein kleines Platinplättchen aufgesetzt.

Der eine Pol eines Volta'schen Elementes wird nun bei *a*, der andere

bei *c* eingeschraubt. Der bei *a* eintretende Strom durchläuft die Spirale *S*, gelangt aus derselben zum Ständer *b*, von welchem er durch die erwähnte Platinspitze auf die Kupferfeder übergeht, um von dieser nach *c* und dem anderen Pole des Elektromotors geführt zu werden.

Dieser Strom macht das Eisendrahtbündel, welches sich in der Spirale *S* befindet, magnetisch, der eiserne Knopf bei *d* wird niedergezogen und dadurch jenes Spiel der raschen Unterbrechung und Wiederherstellung des Stromes hervorgebracht, welches wir bereits oben kennen lernten.

Bei jeder Unterbrechung des Hauptstromes bildet sich nun in der Spirale *S* der Extrastrom, sobald eine entsprechende Nebenschliessung vorhanden ist. Befindet sich der menschliche Körper in dieser Nebenschliessung, so erhält er die bekannten Schläge; die Einschaltung des Körpers kann nun auf verschiedene Weise ausgeführt werden.

1. Die eine Handhabe ist bei *b*, die andere ist bei *c* eingesetzt. Es entspricht dies der Anordnung Fig. 460.

2. Der Anordnung Fig. 461 entsprechend, ist eine Handhabe bei *a*, die andere bei *b* eingeschraubt.

In diesen beiden Fällen erhält man die Schläge des Extrastromes, nicht aber wenn

3. die eine Handhabe bei *a*, die andere bei *c* eingesetzt ist, was der Anordnung Fig. 462 entspricht.

Faraday, welcher auch diese neue Art von Inductionsströmen entdeckte, erklärt ihre Entstehung in folgender Weise: Der elektrische Strom, welcher eine Spirale durchläuft, erzeugt in den parallel laufenden Windungen des Nebendrahtes beim Schliessen der Kette einen entgegengesetzten, beim Oeffnen derselben einen gleichgerichteten Inductionsstrom; fehlt aber dieser Nebendraht, so erzeugt der Hauptstrom in seinem eigenen Leitungsdraht, indem eine Windung inducirend auf die andere wirkt, einen Inductionsstrom, und zwar einen dem Hauptstrom entgegengesetzten beim Schliessen der Kette, einen gleichgerichteten beim Oeffnen derselben.

Der beim Schliessen der Kette inducirte Strom kann keine merkliche Wirkung hervorbringen, weil er dem Hauptstrom entgegengesetzt ist; die vorher besprochenen Schläge rühren nur von dem beim Oeffnen der Kette inducirten Strom her, welcher mit dem Hauptstrome gleich gerichtet ist. Faraday nannte diesen im Hauptdraht selbst entstehenden Inductionsstrom den Extrastrom, zur Unterscheidung von solchen Strömen, welche in einem Nebendraht inducirt werden.

Wir wollen deshalb auch solche galvanische Erschütterungsapparate, in welchen die Schläge vom Extrastrom herrühren, wie beim Apparat Fig. 463, durch den Namen Extrastrom-Apparate von den ähnlich wirkenden Apparaten mit Nebendraht unterscheiden, die wir im vorigen Paragraph kennen lernten und die man kurz Inductionsapparate nennen kann.

Die Existenz des dem Hauptstrome entgegengesetzten Extrastromes, welcher beim Schliessen der Kette entsteht, hat zuerst Dove auf experi-

mentellem Wege nachgewiesen. Am unzweideutigsten hat Edlund den Extrastrom auch zu Anfang des primären nachgewiesen. (Poggendorff's Annalen, Bd. LXXVII, S. 161.) Der Apparat, den er zu diesem Zwecke anwendete, hat folgende in Fig. 464 schematisch dargestellte

Fig. 464.



Einrichtung. *A* ist eine galvanische Säule, von deren Polen zwei Leitungsdrähte nach *b* und *c* führen; *M* ist ein Magnetometer von der in Fig. 326 und 327 dargestellten Einrichtung, dessen Magnetstab mit mehreren von einander getrennten Multiplicatorgewinden umgeben ist. Zu dem Edlund'schen Versuch werden nur zwei von diesen Gewinden gebraucht, welche aber aus gleich viel Windungen gebildet sein müssen. In unserer Figur stellt *fgnih* das innere, *pme* das äussere Gewinde dar; *p* und *e* sind die Schraubklemmen, in welchen der Draht des äusseren, *f* und *h* sind die Schraubklemmen, in welchen der Draht des inneren Gewindes endigt. Von *b* geht eine Drahtleitung nach *p* und nach *h*, während *c* mit *e* und mit *f* leitend verbunden ist. Die Verbindung ist, wie man leicht übersieht, von der Art, dass der Strom, welchen die Batterie *A* liefert, sich bei *c* theilt und die beiden Drahtlagen in entgegengesetzter Richtung durchläuft, so dass bei gehöriger Abgleichung keine Ablenkung des Magnetometers durch den primären Strom der Kette *A* entstehen kann. In unserer Figur ist der Verlauf des durch den Elektromotor *A* direct erzeugten Stromes durch die ungefiederten Pfeile ⟶ dargestellt.

Bei *q* war eine einfache Vorrichtung getroffen, durch welche die Kette bequem und gleichförmig geöffnet und geschlossen werden konnte. Das Magnetometer war mit einem Spiegelapparate versehen und wurde mit einem Fernrohre beobachtet, wie es bei magnetischen Beobachtungen gebräuchlich ist.

Wenn nun bei *S* eine Drahtrolle in den Kreis der inneren Multiplicatorlage eingeschaltet wird, so muss, wenn das Gleichgewicht am Magnetometer nicht gestört werden soll, in die Zuleitung zur äusseren Drahtlage, etwa zwischen *c* und *e*, ein entsprechender Widerstand eingeschaltet werden; um aber zu verhindern, dass in dieser zwischen *c* und *e* angebrachten Einschaltung ein Inductionsstrom entstände, der dem in *S* erzeugten, welcher untersucht werden soll, entgegenwirken könnte, so wurde dieser Einschaltungsdraht *T* über zwei Glasstangen gewunden, welche drei Meter weit von einander abstanden, so dass also der Draht zwischen den Glasstangen geradlinig ausgespannt war.

Wurde nun, nachdem die Widerstände so abgeglichen waren, dass die innere und äussere Drahtlage am Magnetometer sich das Gleichgewicht hielten, der Strom bei q unterbrochen, so bildete sich in der Spirale S ein Extrastrom, welcher in der Richtung circulirt, wie es die gefiederten Pfeile ≫→ andeuten, welcher also, die innere und die äussere Drahtlage in gleicher Richtung durchlaufend, den Magnetometerstab ablenken muss.

Wird die Kette wieder geschlossen, so muss das nämliche Verhältniss stattfinden, d. h. es wird auch jetzt der bei der Schliessung in S inducirte Extrastrom die beiden Drahtlagen in gleicher (den gefiederten Pfeilen entgegengesetzter) Richtung durchlaufen, es findet gegen den vorigen Fall nur der Unterschied statt, dass ein Theil des Inductionsstromes von b durch den Rheomotor A nach c läuft.

Bei Anstellung der Versuche ergab sich nun, dass der Ausschlag des Magnetometers beim Schliessen der Kette gleich und entgegengesetzt war demjenigen, welcher beim Oeffnen entsteht, und daraus ergiebt sich, dass wenn im Schliessungsbogen eines galvanischen Rheomotors eine Drahtspirale eingeschaltet ist, beim Schliessen der Kette sowohl wie beim Oeffnen derselben durch die Einwirkung jedes Stromtheils auf die benachbarten Windungen Ströme inducirt werden, welche unter sonst gleichen Umständen in beiden Fällen gleiche Stärke haben.

170 **Verstärkung der Inductionsströme durch Eisen.** Schiebt man in die Höhlung einer Inductionsspirale weiches Eisen ein, so wird dadurch die Wirkung bedeutend erhöht. Für die physiologischen Wirkungen ist es jedoch keineswegs gleichgültig, in welcher Gestalt das Eisen eingeschoben wird, denn die Schläge werden, wie Sturgeon zuerst beobachtete, durch ein Bündel von dünnen Eisenstäbchen bedeutend mehr verstärkt, als durch einen massiven Eisenstab.

Die verstärkende Wirkung eines Bündels von Eisendrähten äussert sich sowohl bei Inductionsströmen, welche in einem Nebendraht inducirt werden, als auch beim Extrastrom. Die kräftige Wirkung, welche der Fig. 463 abgebildete Apparat selbst bei geringen Dimensionen giebt, rührt grossentheils von dem in der Höhlung der Spirale steckenden Eisendrahtbündel her.

Faraday erklärt die verstärkende Wirkung des weichen Eisens überhaupt auf folgende Weise: Wenn sich innerhalb der Spirale ein Eisenstab befindet, so verschwindet beim Oeffnen der Kette gleichzeitig mit dem Hauptstrom auch der durch denselben hervorgerufene Magnetismus, das Verschwinden des Magnetismus wirkt aber wie das Verschwinden von elektrischen Strömen; der verschwindende Magnetismus inducirt gleichfalls einen mit dem verschwindenden Hauptstrom gleichgerichteten Strom, und daher rührt die Verstärkung durch das Eisen.

Diese Erklärung bedarf nun, wie Magnus nachweist, noch einer Ergänzung, wenn sie auch die noch bedeutendere Wirkung der Eisendraht-

bündel umfassen soll. Der verschwindende Hauptstrom inducirt nämlich auch gleichgerichtete Ströme in der Masse des Eisens, wodurch dem Verschwinden des Magnetismus entgegengewirkt und die verstärkende Wirkung desselben geschwächt wird. Alles, was die Bildung dieser Ströme in der Eisenmasse hindert, wird also natürlich auch die Wirkung des verschwindenden Magnetismus erhöhen müssen; da nun in einem Drahtbündel die durch das Verschwinden des Hauptstromes inducirten Ströme nicht so ungehindert sich bilden können, wie im massiven Eisen, so ist klar, dass der Effect des verschwindenden Magnetismus des Drahtbündels auch nicht durch diese Ströme vermindert wird, wie dies beim massiven Eisen der Fall ist.

Wenn das Eisendrahtbündel mit einer Hülle umgeben ist, die aus einem nicht magnetischen Metall besteht, so wird der verschwindende Magnetismus der Eisenstäbchen zunächst seine inducirende Wirkung auf seine metallische Hülle äussern und nicht auf die Spirale, weshalb in diesem Falle das Drahtbündel kaum so viel wirkt, wie ein massiver Eisenstab.

Ein spiralförmig gewundenes Eisenblech, dessen Querschnitt keinen in sich geschlossenen Leiter bildet, wirkt in gleicher Weise verstärkend, wie ein Bündel Eisendrähte.

Inducirte Ströme, welche bei galvanometrischer Gleichheit ungleich physiologisch wirken. 171 Der galvanometrische Effect eines Stromes ist der chemischen Wirkung stets proportional. Anders verhält es sich, wie Dove durch gründliche Untersuchungen nachgewiesen hat, mit den physiologischen Wirkungen. Für Maschinen-Elektricität hatte man längst einen solchen Unterschied gefunden, denn der die Nerven heftig erschütternde Schlag der Leydener Flasche vermag kaum die Multiplicatornadel abzulenken; er erlangt diese Eigenschaft erst dadurch, dass man die Entladung verzögert, etwa durch Einschaltung einer nassen Schnur, wodurch aber die physiologische Wirkung verschwindet.

Aehnliche Verhältnisse stellen sich nun auch bei Strömen anderer Elektricitätsquellen heraus. Die gewöhnlichen galvanischen Ströme, mächtig auf die Magnetnadel wirkend, sind nicht im Stande, starke physiologische Wirkungen hervorzubringen, während die Inductionsströme bei unbedeutendem galvanometrischen Effect heftige Zuckungen veranlassen.

Vorsselmann de Heer berichtet von einer Inductionsspirale, welche heftige Schläge gab, ohne einen merklichen galvanometrischen Effect zu geben. Auf einem hölzernen Cylinder waren 90 Fuss eines $^1/_{20}$ Zoll dicken Kupferdrahtes spiralförmig aufgewickelt, über diese Spirale aber eine zweite, bestehend aus einem 1500 Fuss langen Kupferdraht von $^1/_{90}$ Zoll Durchmesser. Die erste Spirale bildet den Schliessungsdraht der Säule, die letztere den Inductionsdraht. Schloss man diese Inductionsspirale durch den Körper, so erhielt man einen wahrhaft unerträglichen

Schlag, so oft der die innere kürzere Spirale durchlaufende Strom unterbrochen wurde. Schaltete man aber zwischen den Drahtenden der Inductionsspirale statt des menschlichen Körpers ein Galvanometer ein, so wich die Nadel desselben nicht von der Stelle, wenn der Hauptstrom unterbrochen wurde.

Aus einer Verstärkung der physiologischen Effecte lässt sich also durchaus nicht auf eine vermehrte galvanometrische Wirkung schliessen, und so hat denn auch Dove nachgewiesen, dass die kräftigeren Schläge, welche durch Anwendung von Drahtbündeln statt massiver Eisenkerne hervorgebracht werden, keineswegs daher rühren, dass die Quantität der den Draht durchströmenden Elektricität vermehrt wird. (Pogg. Annal. Bd. XLIX, S. 72.)

Am einfachsten lässt sich dies auf folgende Art zeigen. Man schliesse die Nebenspirale durch einen Multiplicator und beobachte die Ablenkung der Nadel, wenn der Hauptstrom geschlossen, oder wenn er unterbrochen wird für die Fälle, dass entweder Nichts, oder ein massiver Eisenstab oder ein Drahtbündel in die Höhlung der Spirale eingeschlossen ist. Bei einer solchen Versuchsreihe erhielt ich folgende Ablenkungen der Multiplicatornadel:

Ohne Einschiebung .	6,5°
Mit einem Bündel dünner Eisendrähte (1 Mm. dick, gefirnisst)	45
Mit einem Bündel dicker Eisendrähte (1 Linie dick, gefirnisst)	48
Mit einem massiven Eisenkern	63

Der Hauptstrom war durch ein kleines Daniell'sches Element erzeugt worden. Bei rasch auf einander folgenden Schliessungen und Oeffnungen des Hauptstromes waren ohne Einschiebung die Schläge, selbst bei befeuchteten Händen, nicht über das Handgelenk fühlbar; nach Einschiebung des massiven Eisenstabes ging der Schlag in der eben angedeuteten Stärke durch zwei Personen, nach Einschiebung des Bündels dickerer Drähte durch vier, während das Bündel dünner Drähte die Schläge in gleicher Stärke in einer Kette von fünf Personen fühlbar machte.

Zehn der dünneren und fünf der dickeren Eisenstäbchen gaben, in die Spirale eingeschoben, eben so starke Schläge wie der massive Eisenstab; bei physiologischer Gleichheit waren aber die galvanometrischen Wirkungen sehr ungleich, denn es war die Ablenkung des Galvanometers

für die 10 dünneren Stäbchen . . .	28°
für die 5 dickeren Stäbchen	36
für den massiven Eisenstab	63

Mit einer anderen Inductionsspirale, welche aus 1800 Fuss eines nur 1 Mm. dicken Drahtes gebildet war, zeigten sich die galvanometrischen Effecte bei weitem schwächer (ohne Einschiebung von Eisen höchstens 2°, bei eingeschobenem massiven Eisenstab 20°), während die physiologischen Effecte viel kräftiger waren.

Im Magnetisiren von Stahlnadeln zeigt sich der durch die Drahtbündel, im Magnetisiren von weichem Eisen der durch den Eisenstab inducirte Strom überwiegend.

Da nun das Elektromagnetisiren des weichen Eisens einen andauernden Strom erfordert, das Magnetisiren des Stahls aber auch bei den plötzlichsten Entladungen erfolgt; da man ferner aus Versuchen mit Reibungselektricität weiss, dass durch Abgleichen eines gleich grossen elektrischen Gegensatzes je nach der Dauer desselben sehr verschiedene Wirkungen entstehen, indem eine rasche Entladung Schläge, eine langsame hingegen die Ablenkung des Galvanometers hervorzubringen vermag, so kann dies Resultat als ziemlich entscheidend für die Annahme gelten, dass in einem durch ein Drahtbündel inducirten Strom eine bestimmte Elektricitätsmenge in kürzerer Zeit sich durch den Draht bewegt, als wenn dieselbe durch einen massiven eisernen Cylinder in Bewegung gesetzt wird.

Was die Geschwindigkeit betrifft, mit welcher eine gegebene Elektricitätsmenge ausgeglichen wird, so bilden also die Inductionsströme ein Mittelglied zwischen den Entladungen der Reibungselektricität und den galvanischen Strömen. Es lässt sich demnach erwarten, dass man an einer geöffneten Inductionsspirale auch stärkere Spannungserscheinungen beobachten wird, als in einer geöffneten Volta'schen Säule, wenn dieselbe nicht aus Tausenden von Plattenpaaren zusammengesetzt ist.

Sinsteden hat dies in der That nachgewiesen. Seine dickdrahtige Hauptspirale war mit Wachstaffet umgeben, und darauf eine 3280 Fuss lange Inductionsspirale von $^1/_4$ Linie Drahtdicke aufgewickelt. In einer Glasröhre steckend, war ein Bündel Eisendrähte in die Hülse eingeschoben.

Wenn durch Drehung des Unterbrechungsrades der Hauptstrom abwechselnd geöffnet und geschlossen wurde, so sprangen zwischen den einander sehr genäherten Drahtenden der Inductionsspirale Funken über; jedes der freien Enden der Inductionsspirale gab nicht nur am Elektrometer starke Elektricität kund, sondern jedes dieser Enden gab auch für sich Funken, und verursachte in Berührung mit der Haut ein empfindliches Stechen. Diese Erscheinungen wurden verstärkt, wenn das andere Ende der Inductionsspirale zum Boden abgeleitet war.

Quantität und Tension der Elektricität inducirter 172
Ströme. Um die Inductionsströme genauer untersuchen zu können, bedarf man eines Apparates, welcher gestattet, durch irgend einen Körper entweder nur die Oeffnungsschläge oder nur die Schliessungsschläge der Inductionsspirale hindurchgehen zu lassen. Solche Apparate sind namentlich von Dove, Masson und Buff construirt worden; nach Dove wollen wir dieselben als Disjunctoren bezeichnen. Fig. 465, 466 und 467 (a. f. S.) stellen Buff's Disjunctor, welcher wohl der bequemste und zweckmässigste sein dürfte, in $^1/_3$ der natürlichen Grösse dar.

Auf einer und derselben Umdrehungsaxe sitzen zwei ganz gleiche

Messingräder, B und C, von denen das eine, nämlich B, durch eine Hülse von Ebenholz vor metallischer Berührung mit der Axe geschützt ist (Fig. 467), so also, dass die beiden Räder nicht in metallischer Verbindung stehen. Am Umfang dieser Räder sind Stücke von Buchsbaum-

Fig. 465.

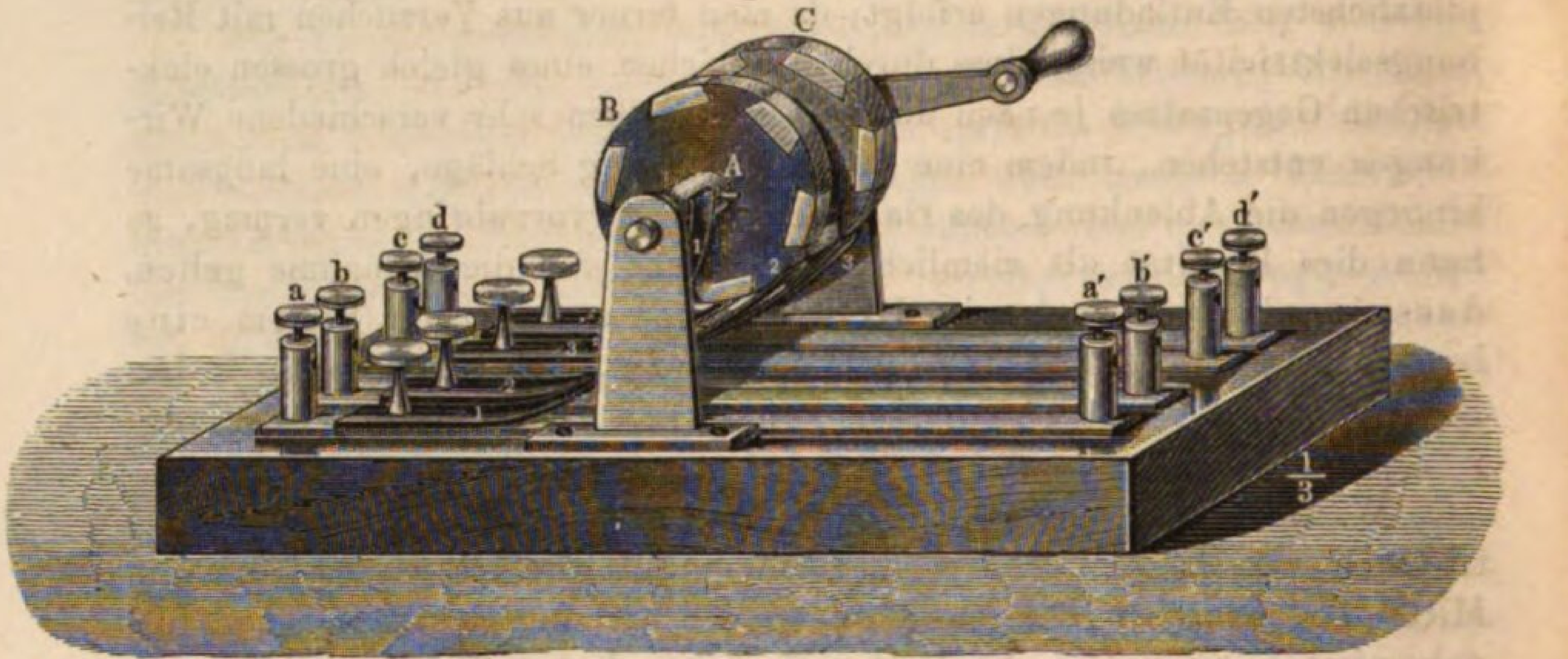


Fig. 466.

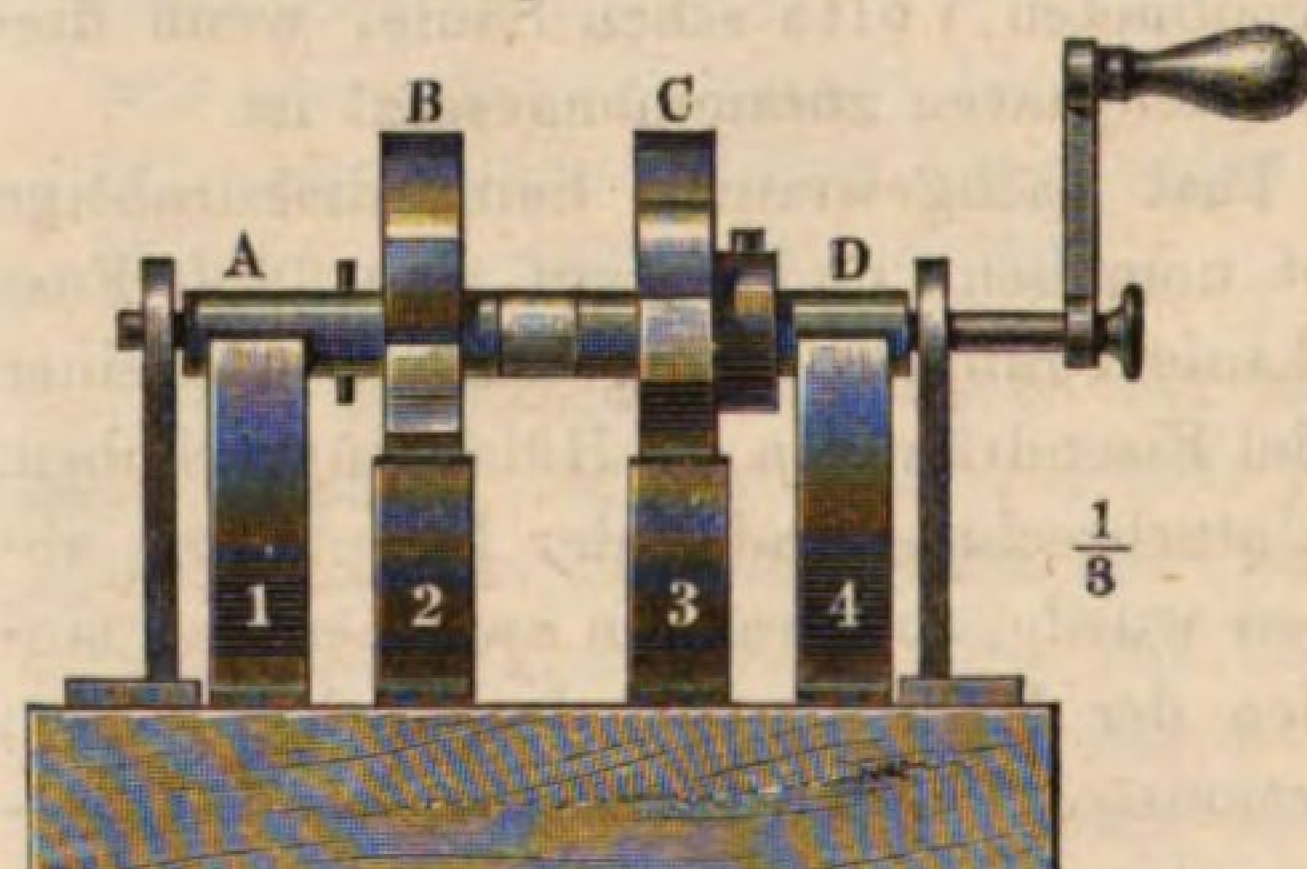
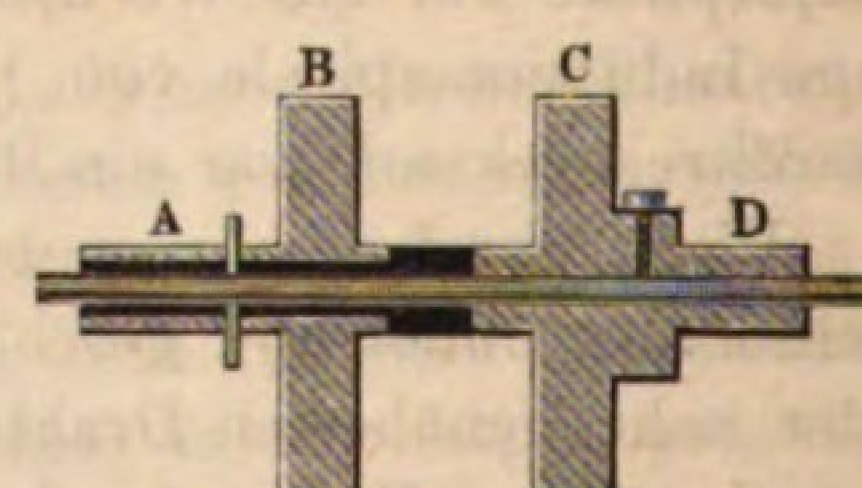


Fig. 467.



holz so eingesetzt, dass dadurch die Mantelfläche in 12 gleiche Abtheilungen getheilt wird, welche abwechselnd aus Metall und aus Holz gebildet sind.

Auf dem Umfang des Rades B schleift die Metallfeder 2, auf C schleift die Feder 3, während auf der mit B zusammenhängenden Hülse A die Feder 1 und auf der mit C zusammenhängenden Hülse D die Feder 4 schleift.

Die Federn 1 und 2 sind durch Messingstreifen mit den Klemmschrauben a und a', b und b' in metallischer Verbindung; ebenso steht die Metallfeder 3 in leitender Verbindung mit den Klemmschrauben c und c', 4 steht in leitender Verbindung mit d und d'.

Sind nun in a und b oder in a' und b' die Poldrähte eines Zinkkohlenbechers eingeschraubt, in dessen Schliessungsbogen die Haupt-

spirale eingeschaltet ist, während in c und d, oder in c' und d' Drähte eingeschaltet sind, welche zu den beiden Enden der Nebenspirale führen, so wird bei Umdrehungen der Axe durch das Rad B der Hauptstrom abwechselnd geschlossen und unterbrochen, während durch das Rad C die metallische Verbindung zwischen den beiden Enden der Nebenspirale gleichfalls abwechselnd hergestellt und unterbrochen wird.

Nun aber sind die beiden Räder B und C so gegen einander gestellt, dass nicht etwa die Randabtheilungen des einen denen des anderen genau entsprechen, sondern so, dass das eine Rad gegen das andere um die Breite einer halben Randabtheilung verstellt ist, so also, dass wenn man sich eine der Gränzlinien zwischen Holz und Messing auf der einen Mantelfläche bis zum anderen Rad verlängert denkt, diese Verlängerungslinie auf die Mitte einer Holz- oder einer Messingabtheilung trifft, wie man dies in Fig. 465 und in Fig. 466 sieht.

Dadurch kommt es nun, dass wenn bei Umdrehung der Axe die Feder 2 eben eine Trennungsstelle zwischen Holz und Messing passirt, die Feder 3 auf der Mitte einer Holz- oder auf der Mitte einer Messingabtheilung steht. Nur im letzteren Fall kann der Inductionsstrom zu Stande kommen.

Wird z. B. die Axe so gedreht, dass der vordere Theil der Räder, Fig. 466, sich von oben nach unten bewegt, so geht die Feder 2 von Messing auf Holz über, der Hauptstrom wird also unterbrochen, während die Feder 3 auf einer Messingabtheilung steht, der Oeffnungsstrom kommt also zu Stande. Bei weiterer Drehung geht aber die Feder 3 auf eine Holzabtheilung des Rades C über, ehe die Feder 2 wieder auf eine Messingabtheilung kommt, der Schliessungsschlag kann also nicht zu Stande kommen, weil 3 auf Holz schleift, während 2 von Holz auf Messing übergeht.

Es ist leicht zu übersehen, dass man nur Schliessungsschläge, aber keine Trennungsschläge erhält, wenn man die Axe in entgegengesetzter Richtung dreht.

Schaltet man nun zwischen dem einen Drahtende der Nebenspirale und dem Rade C in passender Weise einen beliebigen Leiter ein, so wird also derselbe je nach der Umdrehungsrichtung nur von Schliessungs- oder nur von Oeffnungsschlägen durchströmt.

Ist nun in den Schliessungsbogen der Inductionsspirale ein Gefäss mit Kupfervitriollösung eingeschaltet, in welche zwei Platinplatten als Elektroden eintauchen, so erhält man einen Kupferniederschlag nur auf der einen Platinplatte, wenn der Disjunctor so gestellt ist, dass nur die Schliessungsströme durch die Lösung hindurchgehen, während sich ein Kupferniederschlag auf der anderen Platinplatte bildet, wenn die Stellung des Disjunctors nur den Oeffnungsströmen den Durchgang durch die Lösung gestattet.

Lässt man dagegen Schliessungs- und Oeffnungsströme eine Zeit lang durch die Lösung hindurchgehen, wie es der Fall ist, wenn die In-

ductionsspirale stets geschlossen bleibt und man zur Unterbrechung des Hauptstromes ein gewöhnliches Unterbrechungsrad oder einen Wagner'schen Hammer anwendet, so erhält man auf keiner der beiden Elektroden einen Kupferniederschlag. Die chemische Wirkung der Oeffnungsströme ist also gleich derjenigen der Schliessungsströme und daraus folgt, dass die Quantität der Elektricität, welche bei einem Schliessungsschlag den inducirten Draht durchströmt, eben so gross ist, wie die dem Oeffnungsschlag entsprechende.

Ganz anders verhält es sich mit den physiologischen Wirkungen der Inductionsströme. Wenn man statt des Kupfervitriol-Voltameters den menschlichen Körper in den Schliessungsbogen der Inductionsspirale einschaltet, so erhält man sehr kräftige Schläge, wenn der Disjunctor so gestellt ist, dass er nur Oeffnungsschläge durch den Körper hindurchgehen lässt, weit schwächere dagegen, wenn nur Schliessungsschläge durch denselben hindurchgehen.

Experimentirt man mit einer Inductionsspirale, welche Funken *in distans* zu geben im Stande ist, so findet man, dass die Funken eine viel grössere Schlagweite haben, wenn man mittelst des Disjunctors nur Oeffnungsfunken zwischen den Polspitzen überschlagen lässt, als wenn nur Schliessungsfunken überspringen können.

Wenn also auch die Quantität der Elektricität, welche die Nebenspirale bei der Oeffnung des Hauptstromes durchströmt, dieselbe ist, wie bei der Schliessung des Hauptstromes, so ist doch die Tension des Oeffnungsstromes in der Inductionsspirale bei weitem grösser, als die Tension des Schliessungsstromes. Suchen wir eine Erklärung für diese Thatsache zu finden.

Nehmen wir an, dass der Strom in der Hauptspirale momentan seine volle Stärke erlange, dass er diese Stärke während einer gewissen Zeit unverändert beibehalte, um dann ebenso plötzlich aufzuhören, so ist kein Grund vorhanden, warum irgend eine Verschiedenheit (die Richtung ausgenommen) zwischen dem Oeffnungsschlag und dem Schliessungsschlag stattfinden sollte. Da nun aber bei Schliessung der Hauptspirale ein Extrastrom in derselben entsteht, welcher dem Hauptstrome entgegengesetzt gerichtet ist, so wird es eine namhafte Zeit dauern, bis derselbe seine volle Stärke erlangt, und dadurch wird auch der Verlauf des Schliessungsstromes in der Nebenspirale auf eine längere Zeit t ausgedehnt. Bei der Unterbrechung sinkt der Hauptstrom rasch von seiner grössten Stärke auf 0 herunter; die Zeit t', während welcher der Oeffnungsstrom in der Nebenspirale verläuft, ist also weit kürzer als die Dauer t des Schliessungsstromes.

Da nun aber die Quantität der Elektricität, welche den Nebendraht durchströmt, für den Schliessungsstrom eben so gross ist wie für den Oeffnungsstrom, während der letztere doch von viel kürzerer Dauer ist, so ist klar, dass die Intensität des Oeffnungsstromes viel bedeutender sein muss, als die des Schliessungsstromes.

Jede Windung der Nebenspirale ist in gleicher Weise der inducirenden Wirkung der Hauptspirale ausgesetzt, die Quantität q der in der Nebenspirale in Bewegung gesetzten Elektricität ist also nothwendig ihrer Länge, also auch dem Leitungswiderstand R ihrer Windungen proportional; ebenso ist sie proportional der Stromstärke J des Hauptstromes, wir haben also

$$q = KJR,$$

wenn K einen constanten Factor bezeichnet. Bezeichnen wir nun mit i die Intensität (Stromstärke) des Schliessungsstromes und mit t seine Zeitdauer, so ist

$$q = it.$$

Bezeichnen wir ferner mit E die elektromotorische Kraft, welche den Oeffnungsstrom in der Nebenspirale in Bewegung setzt, so ist

$$i = \frac{E}{R}$$

also auch

$$KJR = \frac{E}{R}\, t \text{ und } E = \frac{KJR^2}{t}.$$

Ebenso ergiebt sich dann für den Oeffnungsstrom

$$E' = \frac{KJR^2}{t'}.$$

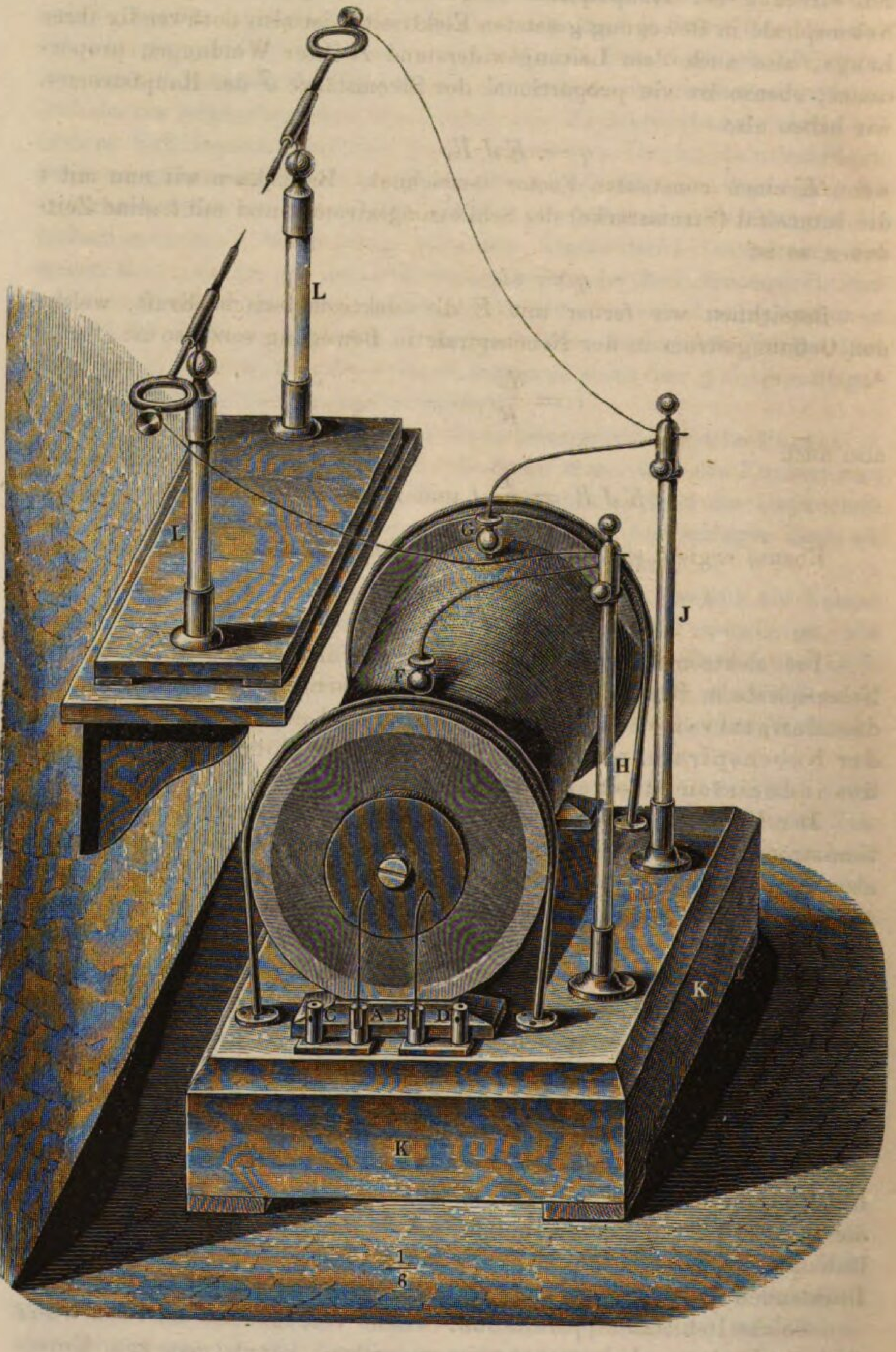
Die elektromotorische Kraft, welche die inducirten Ströme in der Nebenspirale in Bewegung setzt, ist also proportional der Stromstärke des Hauptstromes und dem Quadrat des Leitungswiderstandes der Nebenspirale, aber umgekehrt proportional der Zeitdauer des inducirten Stromes.

Der Umstand, dass die elektromotorische Kraft, welche die Inductionsströme in der Nebenspirale in Bewegung setzt, dem Quadrat von R, also auch ungefähr dem Quadrat der Windungszahl der Nebenspirale proportional ist, erklärt auch, dass dieselbe durch Vermehrung der Windungen hinlänglich gesteigert werden kann, um die kräftigeren Spannungserscheinungen hervorzubringen, deren bereits im vorigen Paragraphen Erwähnung geschah und welche im nächsten Paragraphen ausführlicher besprochen werden sollen.

Der Funkeninductor. Durch Vergrösserung der Dimensionen, 173
namentlich aber dadurch, dass man zur Construction der Nebenspirale einen möglichst langen und dünnen Kupferdraht verwendet und für die Isolation der einzelnen Windungen möglichste Sorgfalt trägt, lassen sich die in §. 171 erwähnten Spannungserscheinungen des Inductionsapparates bedeutend steigern, namentlich aber lassen sich zwischen den genäherten Drahtenden der Inductionsspirale Funken von namhafter Länge erzielen.

Solche Inductionsapparate nun, welche vorzugsweise dazu construirt sind, recht lange Inductionsfunken zu geben, könnte man zum Unter-

Fig. 468.



schiede von den gewöhnlichen Inductionsapparaten als Funkeninductoren bezeichnen. Häufig werden solche Apparate auch Ruhmkorff'sche genannt, weil Ruhmkorff, ein deutscher Mechaniker in Paris, sie zuerst in grösseren Dimensionen ausführte.

Die Inductionsspirale der kleineren Ruhmkorff'schen Apparate hat eine Länge von 35 Cm., während dieselbe bei den grössten 65 Cm. lang ist. Fig. 468 stellt einen der grösseren Ruhmkorff'schen Apparate dar.

Die freien Drahtenden der Hauptspirale, in deren Höhlung sich ein Bündel von Eisenstäbchen befindet, sind zu den Messingsäulchen *A* und *B* geführt (die Schrauben, mittelst deren sie in *A* und *B* festgeklemmt werden, sind in der Figur fortgelassen worden; ebenso die Schraubenköpfe der Säulchen *C* und *D* und der entsprechenden Messingsäulchen in Fig. 469). *A* steht mit dem Messingsäulchen *C*, *B* steht mit *D* in leitender Verbindung.

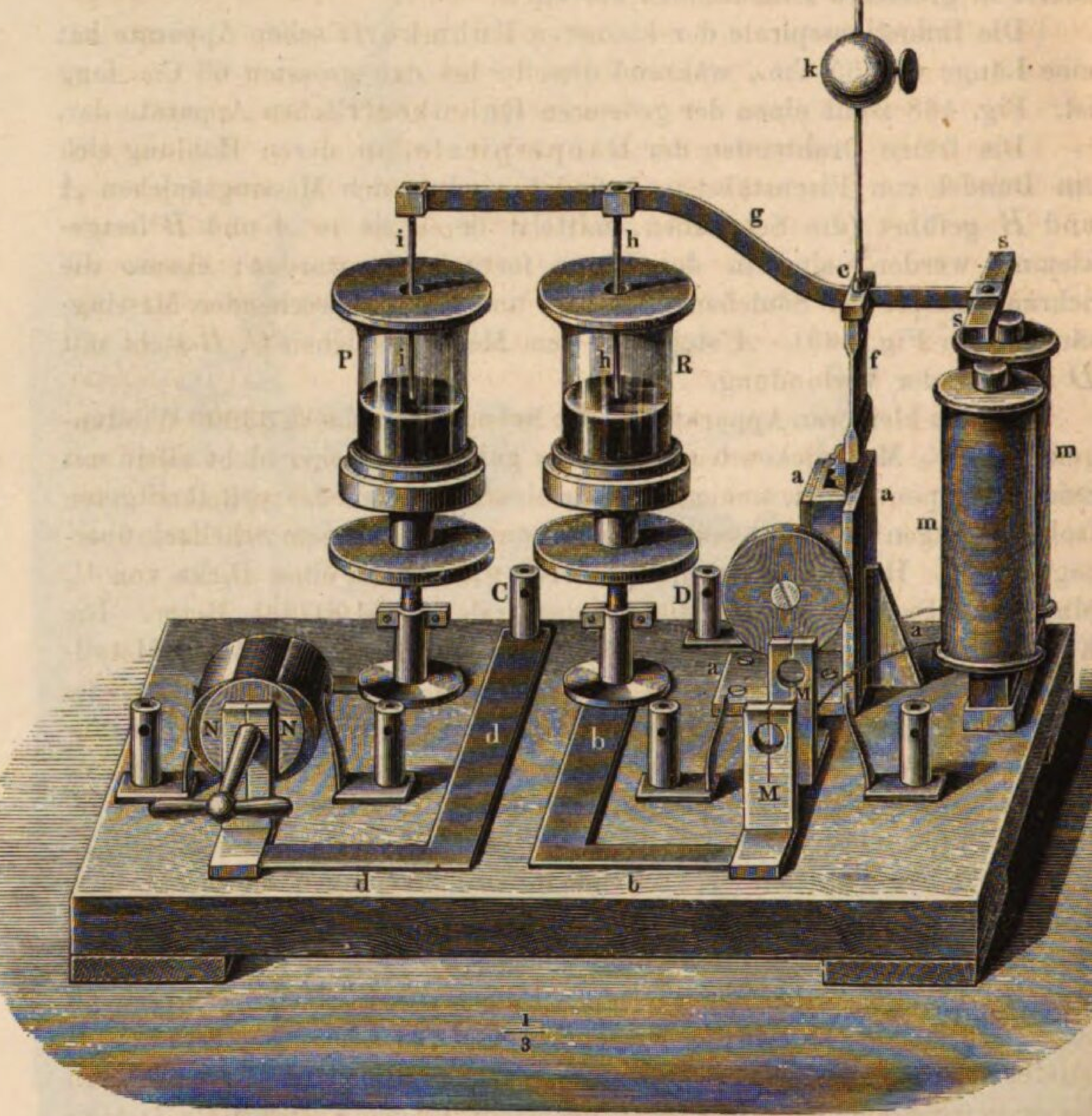
Bei den kleineren Apparaten ist die Nebenspirale durch 33000 Windungen eines $^1/_3$ Mm. dicken Kupferdrahtes gebildet, welcher nicht allein mit Seide übersponnen ist, sondern dessen einzelne Lagen der vollständigeren Isolation wegen noch mit einer Schicht von geschmolzenem Schellack überzogen sind. Bei den grössten Apparaten wächst, bei einer Dicke von $^1/_5$ Mm., die Drahtlänge der Inductionsspirale auf 100 000 Meter. Die Kugeln *F* und *G* bilden die Pole der Nebenspirale. Die obere Metallfassung der Glassäule *H* ist mit *F*, die obere Metallfassung der Glassäule *J* ist mit *G* durch einen Metalldraht verbunden. Von den Metallfassungen der Glassäulen *H* und *J* aus werden dann Drähte zu den Leitern geführt, durch welchen man den Inductionsstrom hindurchsenden will. Unsere Figur zeigt die Verbindung mit dem allgemeinen Auslader *L L*, wo die Funken zwischen zwei Platinspitzen überspringen, deren Abstand man nach Belieben vergrössern oder verkleinern kann.

Die Unterbrechung des Hauptstromes wird bei den kleineren Apparaten durch eine dem Wagner'schen Hammer ähnliche Vorrichtung in der Weise hervorgebracht, dass die Hauptspirale mit ihrem Eisendrahtbündel die Rolle des Elektromagnets spielt. Bei den grösseren Apparaten dagegen wird zur Unterbrechung des Hauptstroms Foucault's Interruptor gebraucht, dessen Einrichtung durch Fig. 469 (a. f. S.) erläutert wird und dessen charakteristische Eigenthümlichkeiten darin bestehen, dass erstens der Strom, welcher das Hammerwerk in Bewegung setzt, ein anderer ist als der weit stärkere, welcher die Hauptspirale durchläuft, und dass zweitens die Schliessung und Unterbrechung des Stroms durch Eintauchen und Herausziehen eines Platinstiftes in und aus Quecksilber bewerkstelligt wird. Betrachten wir diese Vorrichtung etwas näher.

Der positive Poldraht eines einfachen Zinkkohlenbechers führt den Strom zu dem Commutator *M*, dessen Construction wir bereits auf S. 367 kennen gelernt haben. In unserer Figur ist absichtlich die Walze des Commutators weggelassen, welche vollkommen ebenso erscheint, wie die des Commutators *N*. Ferner sind an allen Messingsäulchen der Figur

die Schraubenköpfe weggelassen, welche zum Einklemmen der Drähte dienen. Von dem Commutator *M* geht nun der Strom weiter zu den

Fig. 469.



Umwindungen des kleinen Elektromagnets *m*. Aus den Umwindungen des Elektromagnets *m* wird der Strom zu dem Messingständer *a* geführt, aus welchem er durch die Messingfeder *f* über *g* zum Stahlstift *h* gelangt, dessen unteres mit Platin versehenes Ende in das Quecksilber des Gefässes *R* taucht. Vom Gefäss *R*, in dessen Boden ein Platinstift eintritt, geht der Strom durch den Kupferstreifen *b* zum Commutator *M* zurück, um von diesem nach dem anderen Pole des Bechers zurückzukehren.

Sobald der Strom die Windungen des Elektromagnets durchläuft, wird der eiserne Anker *s* herabgezogen und dadurch der Draht *h* aus dem Quecksilber des Gefässes *R* herausgezogen, der Strom wird unterbrochen und da in Folge davon der Eisenanker des Elektromagnetes *m*

seinen Magnetismus verliert, so schnellt die Feder *f* zurück, um den Draht *h* wieder in das Quecksilber einzutauchen u. s. w.

Die Feder *f* kann durch eine gezahnte Stange gehoben oder gesenkt und ihre Stellung so regulirt werden, dass der Stift *h* eben die Quecksilberoberfläche berührt oder doch nur ganz wenig eintaucht. Auch das Gefäss *R* (ebenso wie das sogleich zu besprechende *P*) kann beliebig höher oder tiefer gestellt werden. Die Schnelligkeit der Vibrationen der Feder *f* kann dadurch regulirt werden, dass man die Metallkugel *k* an einem von *c* aufsteigenden Metallstäbchen höher oder tiefer feststellt. Je höher die Kugel heraufgestellt wird, desto langsamer sind die Vibrationen; sie werden am schnellsten, wenn man die Kugel *k* ganz entfernt.

An dem Ende des horizontalen Metallbalkens, welcher den Stift *h* trägt, ist aber ein zweiter vertical herabgehender Metallstift *i* befestigt, welcher in das Quecksilber des Gefässes *P* eintaucht und aus demselben herausgezogen wird, wenn der eiserne Anker *s* niedergeht. Durch das Heben und Senken dieses Stiftes wird nun der durch 6 grosse Ruhmkorff'sche Elemente (s. S. 216) gelieferte Strom im Hauptdraht des Apparates Fig. 468 abwechselnd unterbrochen und wieder geschlossen. Die Poldrähte dieser Säule sind in die beiden Messingsäulchen des Commutators *N* eingeschraubt, welchen wir zunächst so gestellt denken wollen, dass der positive Strom durch den vorderen Theil der Commutatoraxe austritt und durch den der Kupferstreifen *d* zum Messingsäulchen *C* gelangt.

Von *C* des Interruptors führt ein Draht nach *C* des Apparates Fig. 468 (welcher im halben Maassstabe der Fig. 469 gezeichnet ist), so dass der positive Strom über *C* und *A*, Fig. 468, in die Hauptspirale eintritt. Der die Hauptspirale verlassende Strom geht dann über *B* und *D* der Fig. 468 nach *D* der Fig. 469 und von da über *a*, *f* und *g* durch den Stift *i* in das Quecksilber des Gefässes *P*, um von diesem endlich durch einen nicht bezeichneten Kupferstreifen zum Commutator *N* und der Säule zurückzukehren.

Dieser Strom wird nun durch die Vibrationen der Feder *f* am unteren Ende des Stiftes *i* abwechselnd unterbrochen und geschlossen.

In den Gefässen *P* und *R* wendet man statt des reinen Quecksilbers vortheilhafter ein Platinamalgam an, welches einen ziemlich dickflüssigen Brei bildet. Auf dieses Platinamalgam wird dann Weingeist gegossen, so dass nach dem Herausziehen des Stiftes aus dem Amalgam gleich eine Schicht des isolirenden Weingeistes zwischen die eben getrennten Metalltheile tritt, was nach den Beobachtungen von Poggendorff bewirkt, dass der Strom rascher vollständig unterbrochen wird, dass also die Intensität des inducirten Stromes wächst.

Es bleibt uns jetzt nur noch die Besprechung des Condensators übrig, durch dessen Anwendung Fizeau die Wirkung des Ruhmkorff'schen Apparates bedeutend gesteigert hat.

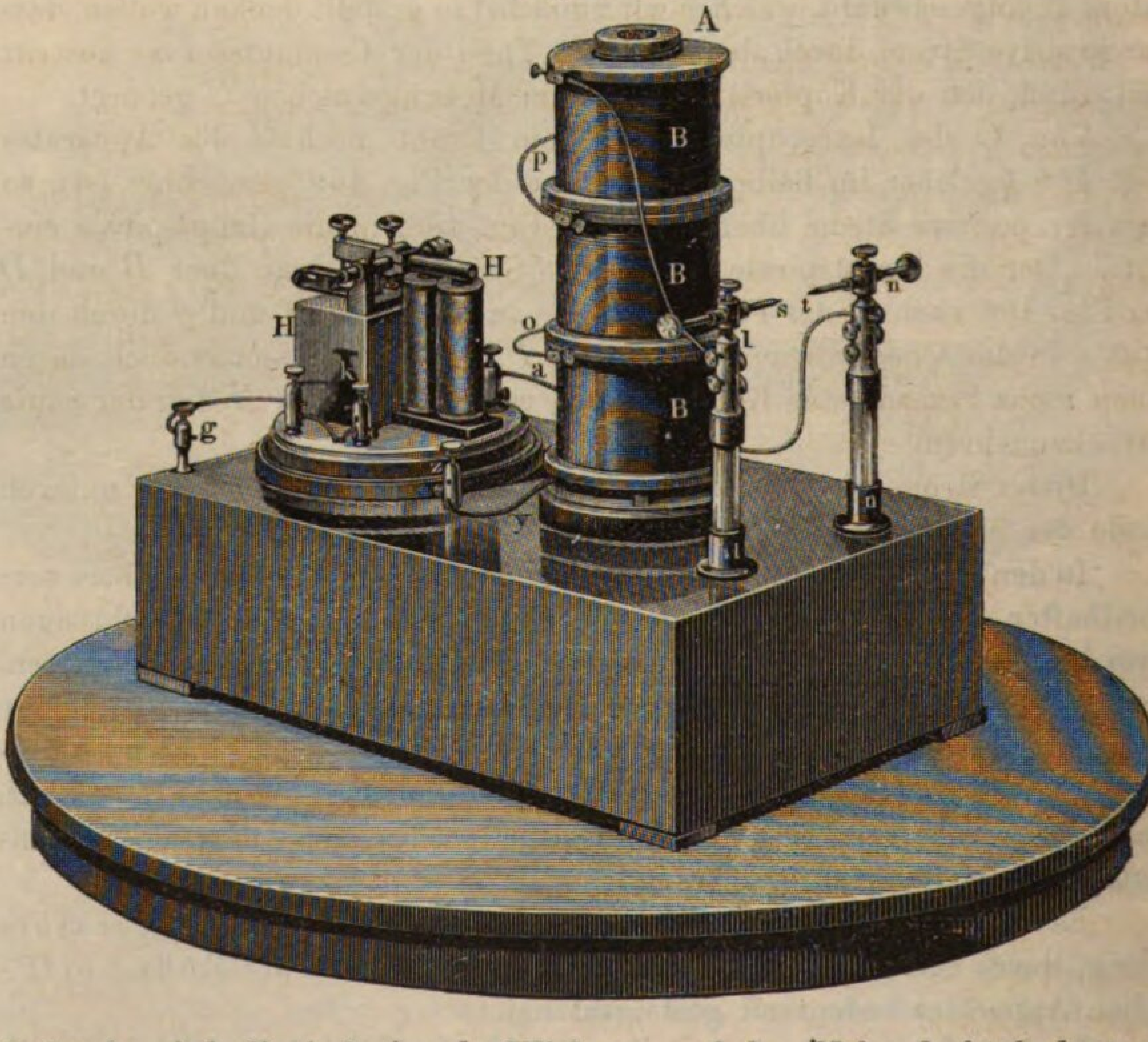
In dem Schliessungsbogen der Hauptspirale wird nämlich ein nach dem Princip der Leydener Flasche oder der Franklin'schen Tafel con-

struirter **Condensator** so eingeschaltet, dass im Moment der Unterbrechung des Stromes die Hauptspirale gewissermaassen durch den Condensator geschlossen ist. Dieser Condensator ist gewöhnlich in der auf S. 169 besprochenen Weise aus einem auf beiden Seiten mit Stanniol belegten Stück Wachstaffet gebildet und in dem Kasten K, Fig. 468, angebracht, welcher den ganzen Apparat trägt.

Das Messingsäulchen C (Fig. 468) steht mit der einen, D steht mit der anderen Belegung dieses Condensators in leitender Verbindung, so dass in dem Momente, in welchem der Hauptstrom in P unterbrochen wird, der dabei sich bildende Extrastrom gewissermaassen durch den Condensator aufgenommen wird.

Dadurch erklärt sich nun auch die Wirksamkeit des Condensators. Wenn im Augenblick der Stromunterbrechung keine Nebenschliessung vorhanden ist, so ist der Verlauf des Extrastromes gehemmt; die mit Gewalt gegen die Unterbrechungsstelle hingetriebene Elektricität wird zwar theilweise durch das Ueberspringen eines glänzenderen Funkens entladen, der Rest aber muss in dem Hauptdraht selbst seine Ausgleichung suchen, er muss gewissermaassen in demselben zurückströmen und

Fig. 470.



dadurch wird die inducirende Wirkung auf den Nebendraht bedeutend geschwächt.

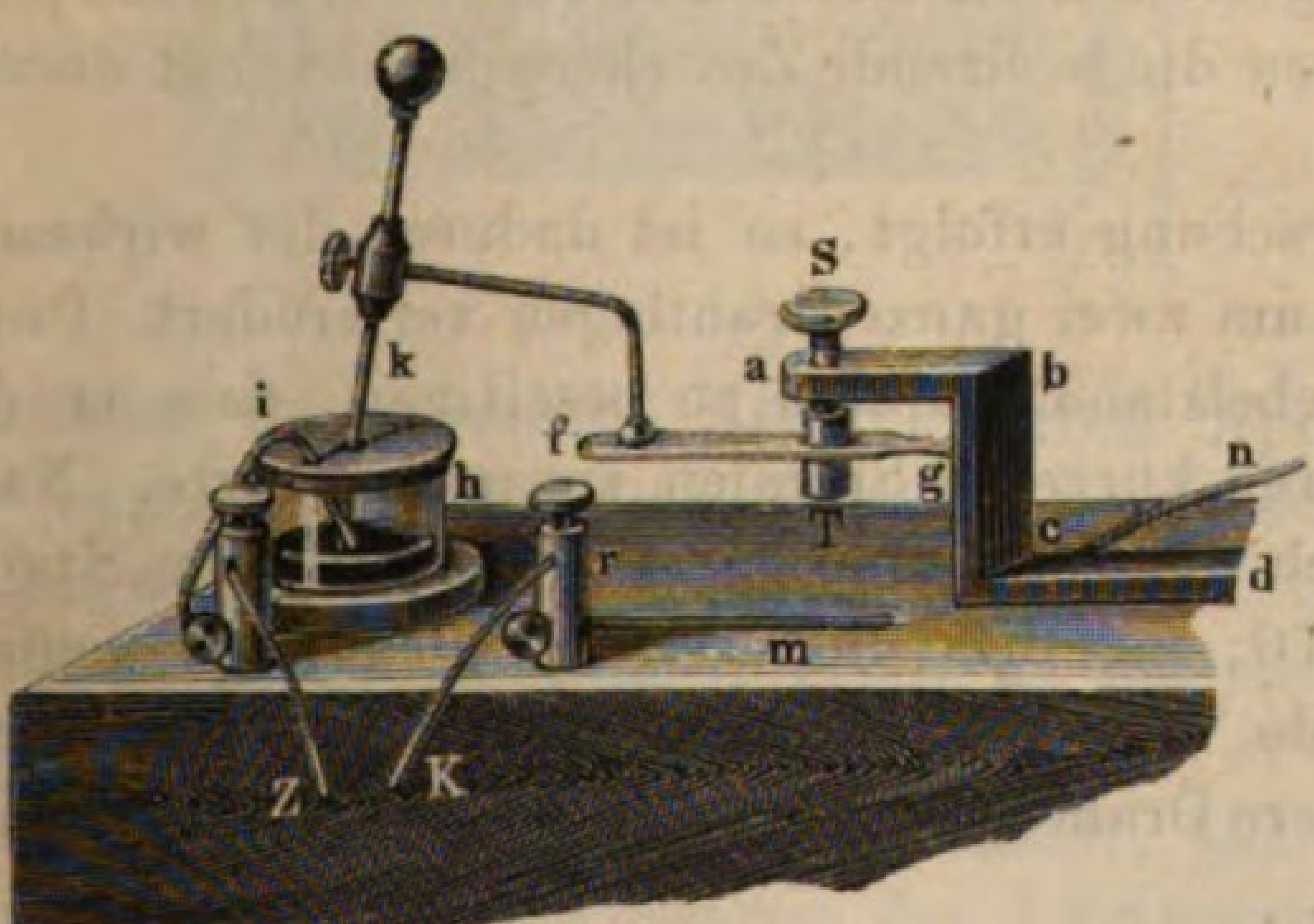
Ist aber der Condensator eingeschaltet, so wird der Extrastrom durch denselben vollständig aufgenommen und es findet keine Rückströmung im Hauptdraht statt. Ein Beweis für die Richtigkeit dieser Ansicht liegt darin, dass durch die Einschaltung des Condensators die Funken an der Unterbrechungsstelle der Hammervorrichtung schwächer werden.

Zum Schluss mag noch bemerkt werden, dass ich mir beim Entwerfen der Zeichnung Fig. 468 und 469 lediglich im Interesse der leichteren Uebersichtlichkeit einige im Uebrigen unwesentliche Abweichungen von dem Ruhmkorff'schen Apparat erlaubt habe.

Wenden wir uns nun zur Betrachtung der von Stöhrer in Dresden construirten Funkeninductoren. Haupt- und Nebenspirale sind bei denselben vertical gestellt, wie man Fig. 470 sieht, welche einen kleinen Stöhrer'schen Apparat älterer Construction darstellt, die aber im Wesentlichen auch mit der Anordnung der neueren Apparate übereinstimmt. Die Hauptspirale A, deren Höhlung mit einem Bündel weicher Eisenstäbchen gefüllt ist, ist von der Nebenspirale B umgeben, welche hier aus drei Abtheilungen besteht. s und t sind die von isolirenden Glassäulen getragenen Platinspitzen, welche die Pole der Inductionsspirale bilden, zwischen denen also die Funken überspringen. H ist der Unterbrecher, welcher im Wesentlichen mit dem Wagner'schen Hammer übereinstimmt. Der Condensator befindet sich in einer Schieblade des Kastens, auf welchem der ganze Apparat steht.

Bei den neueren Apparaten hat Stöhrer zur Unterbrechung des Hauptstroms gleichfalls einen Quecksilber-Interruptor in Anwendung gebracht. Fig. 471 zeigt die Einrichtung desselben bei den kleineren Apparaten. Der horizontale Arm cd des zweimal rechtwinklig gebogenen Eisenstückes $abcd$ erstreckt sich bis unter die vertical stehende Hauptspirale, und auf dem Ende dieses eisernen Streifens stehen die Eisenstäbchen auf, welche die Höhlung der Hauptspirale füllen. Wenn also der Strom durch die Hauptspirale geht und dadurch die Eisenstäbchen in ihrer Höhlung magnetisch werden, so wird auch das Eisenstück $abcd$ sammt der unten etwas vorragenden eisernen Schraube S magnetisch. Die magnetische Schraube S zieht den eisernen Cylinder T an, welcher in dem federnden Messingstreifen fg befestigt ist. Sobald

Fig. 471.



der Strom unterbrochen wird, schnellt die Feder wieder zurück. Die Verlängerung der Feder trägt einen Draht *k*, an welchem oben eine Kugel befestigt ist und welcher unten in das Quecksilber des Glasgefässes *h* eben eintaucht. Durch die Vibrationen der Feder *fg* wird der Draht *k* abwechselnd in das Quecksilber eingesenkt und herausgezogen. Durch den Draht *i* wird der Strom dem Quecksilber zugeführt, und wenn der Draht *k* in das (mit Weingeist bedeckte) Quecksilber eintaucht, so geht der Strom von *k* zur Feder *fg* zu dem Eisenstück *abcd*, von welchem aus derselbe durch den Draht *n* in die Hauptspirale eintritt. Nachdem er die Windungen derselben durchlaufen hat, wird er durch den Draht *m* der Klemmschraube *r* und von dieser dem anderen Pol des Rheomotors zugeführt.

In unserer Zeichnung sind der Einfachheit wegen die zum Condensator führenden Kupferstreifen, sowie eine Vorrichtung zur leichten Unterbrechung des Stromes weggelassen.

Bei den grösseren Stöhrer'schen Funkeninductoren hat der Interruptor eine ganz ähnliche Einrichtung, nur ist er auf einem besonderen, vom Stativ der Haupt- und Nebenspirale ganz getrennten Gestelle angebracht, weshalb denn auch die Schwingungen der Feder durch einen besonderen kleinen Elektromagnet bewerkstelligt und unterhalten werden. Hier ist es aber derselbe Strom, welcher die Windungen des Elektromagnets und die Windungen der Hauptspirale durchläuft.

Eine ganz eigenthümliche Einrichtung haben die Inductionsrollen der neueren Stöhrer'schen Apparate. Bei der gewöhnlichen Art die Spiralen zu wickeln, bei welcher jede Lage einen hohlen Cylinder von der Gesammtlänge der Spirale bildet, sind der Anfang der einen und das unmittelbar darauf liegende Ende der folgenden Lage durch die Drahtlänge zweier ganzen Lagen getrennt, sie haben also eine bedeutende Spannungsdifferenz, in Folge deren die isolirende Zwischenschicht leicht durchbrochen wird.

Ist eine solche Durchbrechung erfolgt, so ist dadurch der wirksame Theil der Inductionsspirale um zwei ganze Drahtlagen vermindert. Poggendorff suchte diesen Uebelstand dadurch zu beseitigen, dass er die Inductionsspirale aus mehreren kürzeren Spiralen zusammensetzte. Nach diesem Princip ist dann auch die Inductionsspirale *B* der älteren Stöhrer'schen Apparate, Fig. 470, aus drei kürzeren Spiralen zusammengesetzt. Das innere Drahtende der mittleren Spirale ist mit dem äuseren der untersten, und das äussere Drahtende der mittleren ist mit dem inneren der obersten verbunden.

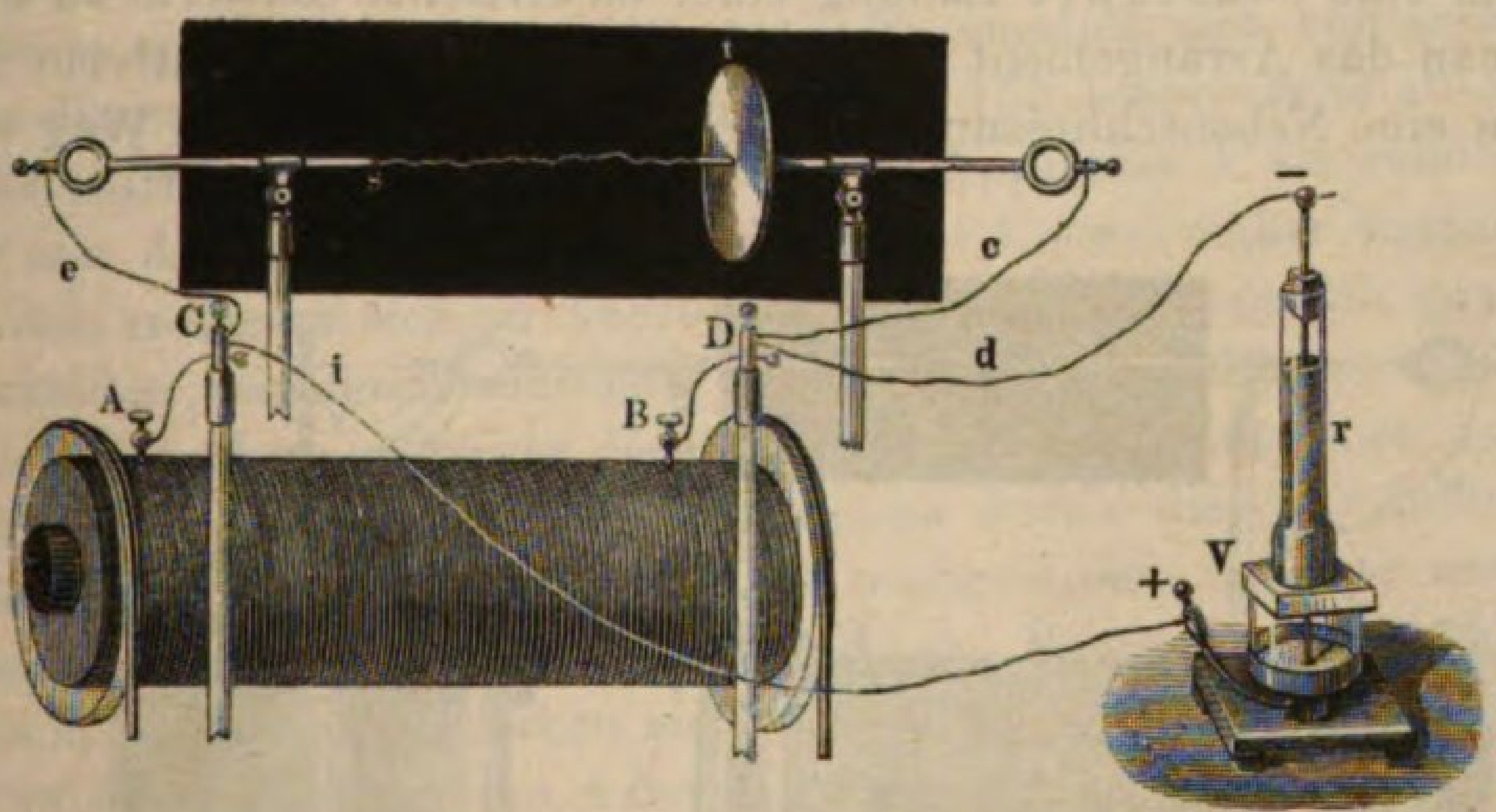
Bei seinen neueren Apparaten ist nun Stöhrer in dieser Richtung noch weiter gegangen, indem er die einzelnen Lagen nicht mehr so aufwickelt, dass sie einen hohlen Cylinder, sondern so, dass sie eine Scheibe bilden, deren Ebene rechtwinklig auf der Axe der Spirale steht. Wenn die Windungen einer Scheibe von Innen nach Aussen gehen, so gehen sie in der nächsten von Aussen nach Innen zurück u. s. w.

Der Draht der in gewöhnlicher Weise gewickelten Hauptspirale ist ungefähr 1 Linie dick. Für die kleineren Apparate besteht sie aus 4 Lagen zu je 80, bei den grösseren aus 5 Lagen zu je 120 Windungen. Für die Inductionsspirale verwendet Stöhrer einen Kupferdraht, welcher nur $^1/_6$ Millimeter dick ist. Die kleineren Inductionsspiralen haben 18400, die grösseren haben 36900 Windungen, so dass die Drahtlänge der grösseren Stöhrer'schen Inductionsrollen ungefähr 12600 Meter beträgt.

Versuche mit dem Funkeninductor. Sobald der Funkeninductor mit einer Säule von entsprechender Stärke in Verbindung gebracht und der Interruptor in Thätigkeit gesetzt ist, springen zwischen den beiden Metallspitzen, die mit den Drahtenden der Inductionsrolle leitend verbunden sind, kräftige Funken über, und zwar auf einer Entfernung von 6 bis 8 Centimeter bei den kleineren und auf 20 Centimeter bei den grösseren Stöhrer'schen Apparaten. Die grössten Ruhmkorff'schen Apparate liefern 45 Centimeter lange Funken. 174

Bei grösseren Apparaten wendet man einen besonderen Auslader an, zwischen dessen Spitzen die Funken überspringen. Fig. 468, S. 508 zeigt, wie dieser Auslader mit dem Apparat zu verbinden ist. Bei dem

Fig. 472.

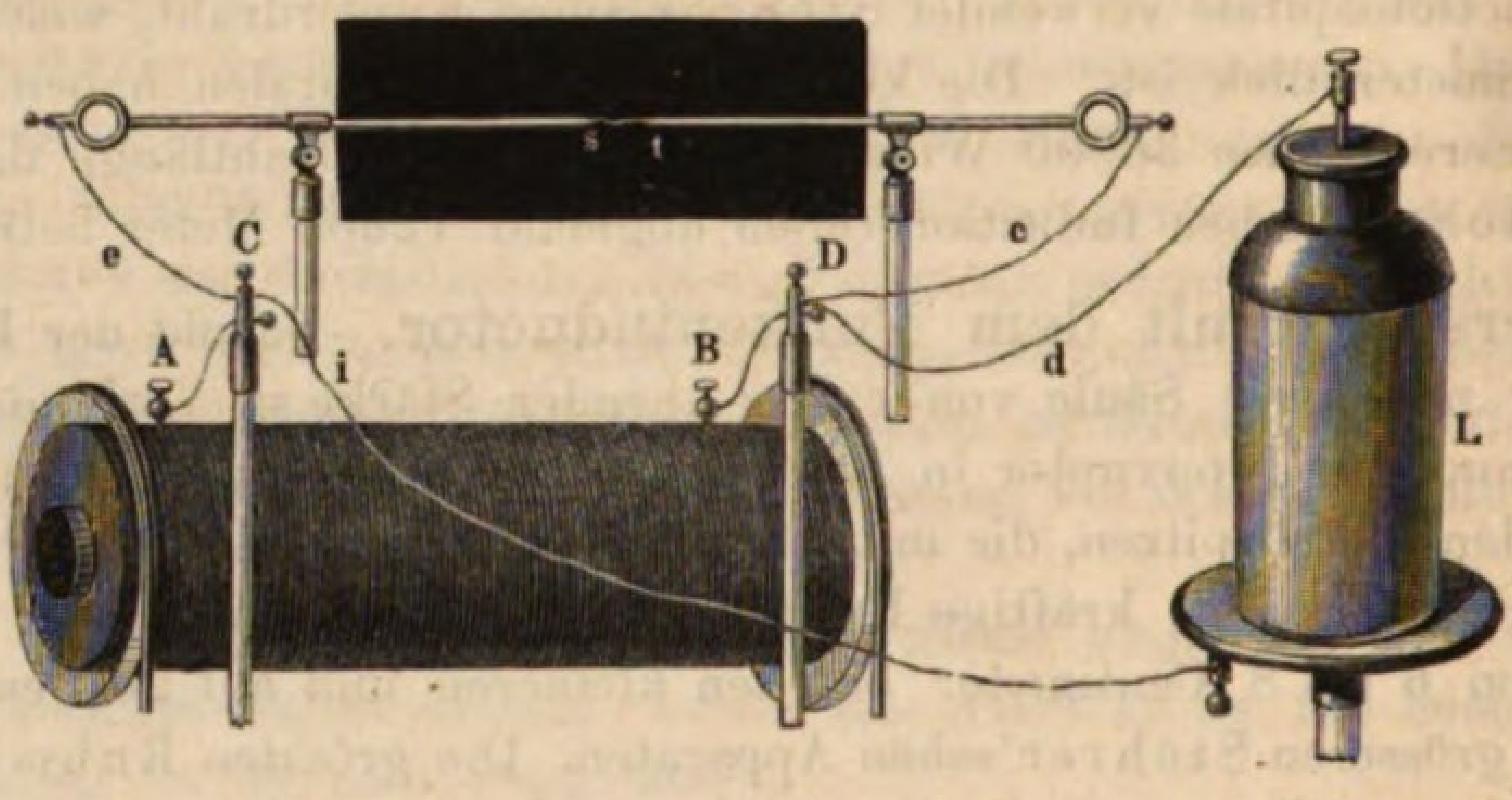


Auslader der grösseren Stöhrer'schen Apparate stehen die Polspitzen in verticaler Richtung einander gegenüber. Um möglichst grosse Schlagweite zu erhalten ist es vortheilhaft, die negative Polspitze mit einer Messingplatte von ungefähr 2 Decimeter Durchmesser zu vertauschen, wie man Fig. 472 sieht. Wenn es sich nur um die zwischen *s* und *t* überspringenden Funken handelt, bleibt der alsbald näher zu besprechende Apparat *V* sammt den Zuleitungsdrähten *d* und *i* ganz weg.

Wenn man in der Weise, wie es Fig. 473 (a. f. S.) zeigt, eine Nebenschliessung herstellt, in welcher eine kleine Leydener Flasche eingeschaltet ist (die äussere Belegung ist durch den Draht *i* mit dem einen, die innere durch den Draht *d* mit dem anderen Pol der Inductionsrolle verbunden), wird die Elektricität erst bis zu einem gewissen Grade auf den Belegungen der Flasche angehäuft, ehe ein Ueberspringen des Funkens zwischen

den Spitzen des Ausladers erfolgen kann, die aber nun mindestens bis auf die Schlagweite der Flasche genähert sein müssen. Die Funken sind

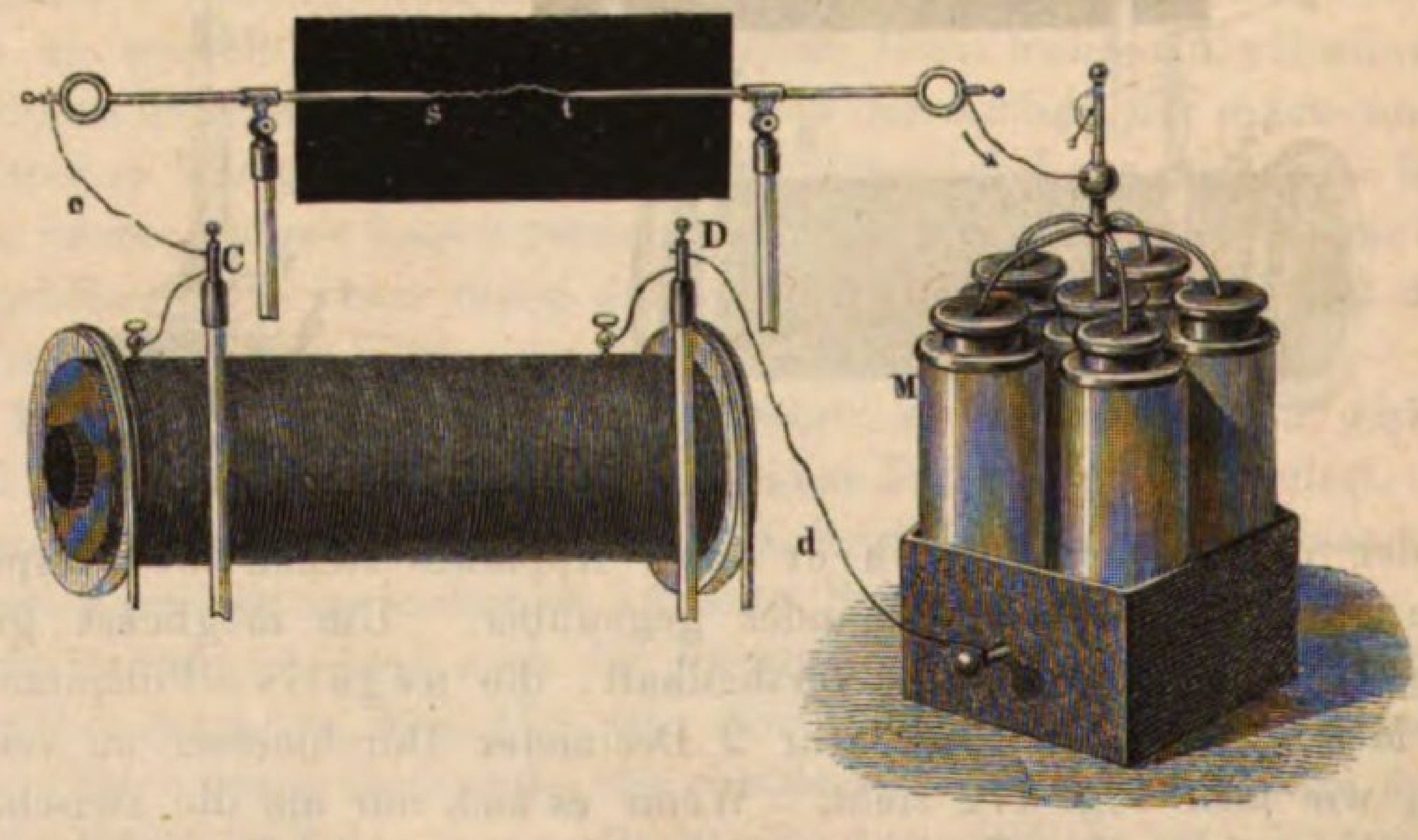
Fig. 473.



also jetzt viel kürzer, aber weit kräftiger, blendend hell und von einem eigenthümlichen durchdringenden Geräusch begleitet. Die so erzeugten Funken sind es, welche zur Untersuchung der Metallspectra (Bd. I, S. 630) angewandt werden.

Um eine constante Ladung einer elektrischen Batterie zu erhalten, muss man das Arrangement Fig. 474 anwenden. Die Batterie ist hier nicht in eine Nebenschliessung eingeschaltet, sondern in den Weg von dem

Fig. 474



einen Pol D der Inductionsspirale zur einen Spitze t des Ausladers, d. h. die äussere Belegung ist mit dem Pol D, die innere mit der Spitze t des Ausladers leitend verbunden. Vom Pol C führt dann ein Leitungsdraht zur anderen Spitze s des Ausladers. Wenn die Spitzen s und t einander nahe gestellt sind, so ist eine constante Ladung der Batterie nicht möglich, weil jeder Schliessungsschlag der inneren Belegung die entgegengesetzte Elektricität derjenigen zuführt, welche beim Oeffnungsschlag von

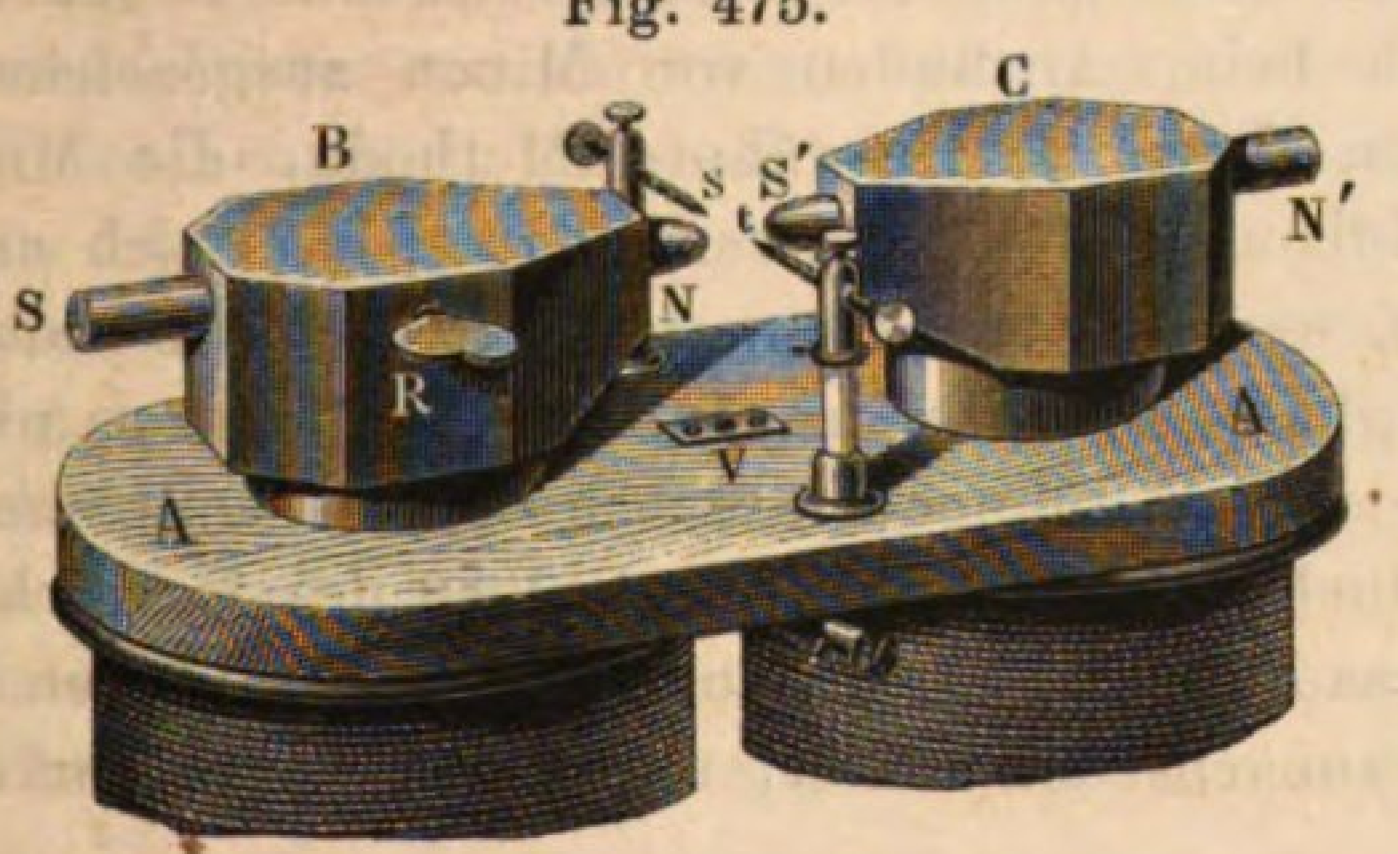
s nach *t* überspringt, wie denn auch bei dem in Fig. 473 dargestellten Arrangement die Flasche abwechselnd mit positiver und mit negativer Elektricität geladen wird. Da nun aber die Schlagweite für den Schliessungsschlag weit geringer ist als für den Oeffnungsschlag, so kann man eine constante Ladung der Batterie dadurch erzielen, dass man die Spitzen *s* und *t* so weit aus einander stellt, dass nur der Oeffnungsfunken zwischen ihnen überspringt.

Wie bedeutend die mechanische Kraft des Entladungsschlags dieser Apparate ist, geht daraus hervor, dass er dicke Glasplatten durchzuschlagen im Stande ist; Fig. 472 zeigt das Arrangement des Versuchs. Eine Glasplatte *V* ist auf eine isolirte, mit dem Pol *C* der Inductionsrolle verbundene Messingspitze aufgesetzt. Dieser Spitze gerade gegenüber steht das untere zugespitzte Ende eines Metalldrahtes *r*, welcher mit dem anderen Pol *D* leitend verbunden ist. Um zu verhindern, dass der Entladungsschlag um die Glasplatte herumgeht, ist der Draht *r* mit einem Glasrohr umgeben, dessen Höhlung mit Harz ausgezogen ist. Sobald der Apparat in Gang gesetzt wird, wird die Glasplatte augenblicklich durchbohrt. Um zu verhindern, dass die isolirenden Schichten der Inductionsspirale selbst durchbrochen werden, wenn der Widerstand der Glasplatte zu gross sein sollte, sind die Pole *C* und *D* auch mit dem Auslader verbunden, wie die Figur zeigt, damit die Funken nöthigenfalls zwischen *s* und *t* überschlagen können. Es versteht sich von selbst, dass man zu diesem Versuch auch das auf Seite 155 besprochene Holtz'sche Glasrohr statt des in Fig. 472 dargestellten Apparates *V* verwenden kann.

Wenn die Spitzen des Ausladers *s* und *t* etwas näher zusammengestellt sind, so lassen sich an überschlagenden Funken deutlich zwei Theile unterscheiden, ein hellleuchtender Lichtstreif in der Mitte, welcher von einer orangerothen, weniger leuchtenden Aureole umgeben ist. Der leuchtende Lichtstreif ist, wie Lissajous durch die Beobachtung des Funkens in einem rotirenden Spiegel nachgewiesen hat, nur momentan, während die Aureole eine längere Dauer hat. Wenn man einen kräftigen Luftstrom gegen den Funken richtet, so wird der Lichtstreif dadurch nicht afficirt, während die Aureole auf die Seite geblasen und von dem Lichtstreif getrennt wird.

Sehr schön kann man diese Trennung auch hervorbringen, wenn man den Funken zwischen den Polen eines kräftigen Elektromagnets überschlagen lässt. Fig. 475 zeigt eine an dem grossen Elektromagnet, Fig. 338, Seite 366 anzubringende Vorrichtung, um diesen Versuch anzustellen. Auf

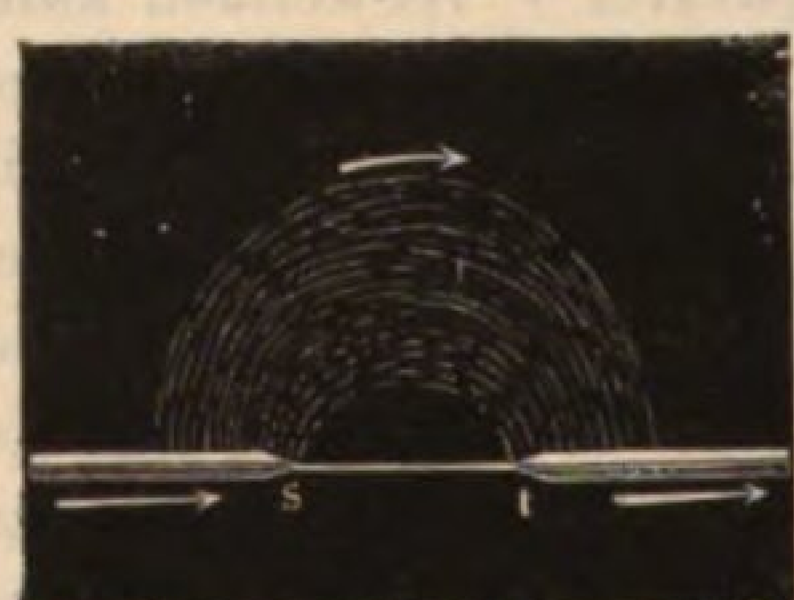
Fig. 475.



die beiden obersten Spulen wird ein Brett A aufgesetzt, über welches durch zwei in demselben angebrachten runde Auschnitte die Eisenkerne des Elektromagnets noch etwas hervorragen. Auf diesem Brett können verschiedene Vorrichtungen für später zu besprechende Versuche aufgeschraubt werden. Für unsern Versuch sind zwei Glassäulchen aufgeschraubt, welche die mit den Polen der Inductionsspirale in leitende Verbindung zu setzenden Entladungsspitzen s und t tragen. Auf die oberen Enden der Eisenkerne sind nun die eisernen Halbanker B und C aufgesetzt, in welche cylinderförmige Höhlungen zur Aufnahme der Eisenstäbe SN und $S'N'$ eingebohrt sind. Die einander zugekehrten Enden dieser Eisenstäbe sind abgerundet, wie es die Figur zeigt. Man kann diese Stäbe in ihren Höhlungen vor- und rückwärts schieben und in beliebiger Stellung durch Stellschrauben R und R' (R' ist als auf der Rückseite von C befindlich nicht sichtbar) feststellen.

Wenn man die Entladungsfunken zwischen den 1 bis 2 Cm. von einander abstehenden Polspitzen überschlagen lässt und dann den Elektromagnet in Thätigkeit setzt, so bleibt der helle Lichtstreif ungeändert, die lichtschwächere Aureole aber wird zu einer halbkreisförmigen Scheibe zusammengedrückt, deren Ebene rechtwinklig steht auf der Verbindungslinie der Pole, ungefähr wie es in Fig. 476 und in Farben in Fig. 2 auf Tab. I. dargestellt ist. Je nach der Stromrichtung der Entladungsfunken und der Polarität des Elektromagnets ist die halbkreisförmige Lichtscheibe entweder von st nach oben oder nach unten gerichtet. Sie hat die in Fig. 476 dargestellte Lage, wenn der positive Strom von s nach t geht und S' ein Südpol ist. Wird entweder die Polarität des Magnets oder die Richtung der Entladungsfunken geändert, so kehrt sich die Lichtscheibe nach unten.

Fig. 476.



Die Lichtscheibe nimmt stets eine solche Lage an, dass der in ihr von dem einen Poldraht zum andern übergehende positive Strom gleichgerichtet ist mit den Molekularströmen der zu seinen beiden Seiten befindlichen Magnetpole.

Auch für die Praxis hat der Funkeninductor bereits eine Bedeutung erlangt, indem er nämlich beim Anzünden von Minen ausgezeichnete Dienste leistet. Die oben Seite 301 erwähnte Methode, die Minen durch einen galvanisch glühenden Draht zu entzünden, lässt sich nicht mehr mit Erfolg anwenden, wenn es sich darum handelt, mehrere benachbarte Minen vollkommen gleichzeitig zu entzünden, weil man es nicht wohl dahin bringen kann, dass die dünnen Drähtchen in allen vollkommen gleich ausfallen. So geschieht es denn, dass das Glühen des Drähtchens in einer Patrone einen etwas schwächeren Strom erfordert als in den anderen; diese Patrone wird zunächst entzündet, und wenn durch ihr Ab-

brennen die Leitung einmal unterbrochen ist, so bleiben die anderen in die gleiche Leitung eingeschalteten Minen unentzündet.

Lässt man dagegen durch eine Drahtleitung, in welcher mehrere Unterbrechungsstellen befindlich sind, eine elektrische Entladung durchschlagen, welche in Form von Funken durch die Lücken übergehen muss, so wird der Funken gleichzeitig an allen Unterbrechungsstellen auftreten; wenn es sich um gleichzeitiges Sprengen mehrerer Minen handelt, ist deshalb die Entzündung durch den elektrischen Funken der Entzündung durch den glühenden Draht vorzuziehen.

Den zum Entzünden der Minen nöthigen Funken liefert der Inductionsapparat mit grösster Sicherheit. Da nun aber, wie wir bereits in §. 54 gesehen haben, der Funke das Pulver nicht leicht direct entzündet, so muss an der Unterbrechungsstelle ein Körper angebracht sein, bei welchem dies leichter der Fall ist und welcher dann die Entzündung des Pulvers vermittelt. Bei den Stateham'schen Zündern geschieht dies auf folgende Weise (wonach auch die auf S. 152 gegebene Notiz zu berichtigen ist).

Stateham hat nämlich gefunden, dass ein mit geschwefelter Guttapercha überzogener Kupferdraht sich im Lauf einiger Monate mit einer Schicht von Schwefelkupfer überzieht. Wenn man an irgend einer Stelle eines solchen Drahtes die obere Hälfte der Guttaperchahülle entfernt und dann in diesem Ausschnitt ein kurzes Stückchen des Drahtes selbst wegnimmt, so bleibt an der Unterbrechungsstelle zwischen den beiden Drahtenden die erwähnte Schicht von Schwefelkupfer an der Guttapercha haftend zurück. Wenn nun an dieser Stelle ein kräftiger Funken überschlägt, so macht er diese Schwefelkupferschicht glühend und entzündet die Pulverladung, wenn sich die fragliche Unterbrechungsstelle innerhalb der Sprengpatrone befindet.

Das Vibrations-Chronoskop. Nachdem wir nun den Funken- 175
inductor näher kennen gelernt haben, können wir auch seine Verwendung zur Markirung von Zeitmomenten an den Phonautographen, welche bereits auf S. 436 des ersten Bandes erwähnt wurde, näher besprechen.

Wenn die Trommel des Phonautographen mit dem einen, die schreibende Stimmgabel mit dem anderen Pole eines Funkeninductors verbunden ist, so ist der Schliessungsbogen der Inductionsspirale nur durch das berusste Papier unterbrochen; hier muss also zwischen dem Schreibstift und der Trommel jedesmal ein Funken überspringen, so oft der Hauptstrom des Inductionsapparates unterbrochen wird. Dieser zwischen Schreibstift und Trommel überspringende Funke durchbohrt aber das Papier und bildet auf diese Weise eine durch Feinheit und Präcision ausgezeichnete Marke.

Um den bereits auf Seite 437 des ersten Bandes besprochenen Versuch zur Zählung der Stimmgabelschwingungen auszuführen, wurde ein Stöhrer'scher Inductionsapparat von der in Fig. 470 S. 512 dargestell-

ten Form angewandt, der aber mit einem Quecksilber-Interruptor versehen war, ähnlich dem in Fig. 471 dargestellten, welcher 82 Schwingungen in 30 Secunden machte.

Wie mit diesem Apparat die Schwingungszahl der Stimmgabel bestimmt wurde, ist bereits an der citirten Stelle des ersten Bandes angegeben. Nachdem nun so die Brauchbarkeit des Princips nachgewiesen war, liess sich dasselbe auch allgemein zur Messung der Zeitdauer rasch vorübergehender Acte verwenden, deren Anfangs- und Endmoment jeweils durch den von der schreibenden Spitze überspringenden Inductionsfunken markirt wird.

Zunächst wandte v. Babo diese Verbindung des Phonautographen mit dem Inductionsapparat, die wir kurz als Vibrationschronoskop bezeichnen wollen, mit dem besten Erfolg an, um das Fallgesetz zu demonstriren und die Zeit zu messen, welche ein schwerer Körper braucht, um kleinere Höhen zu durchfallen.

Fig. 477.

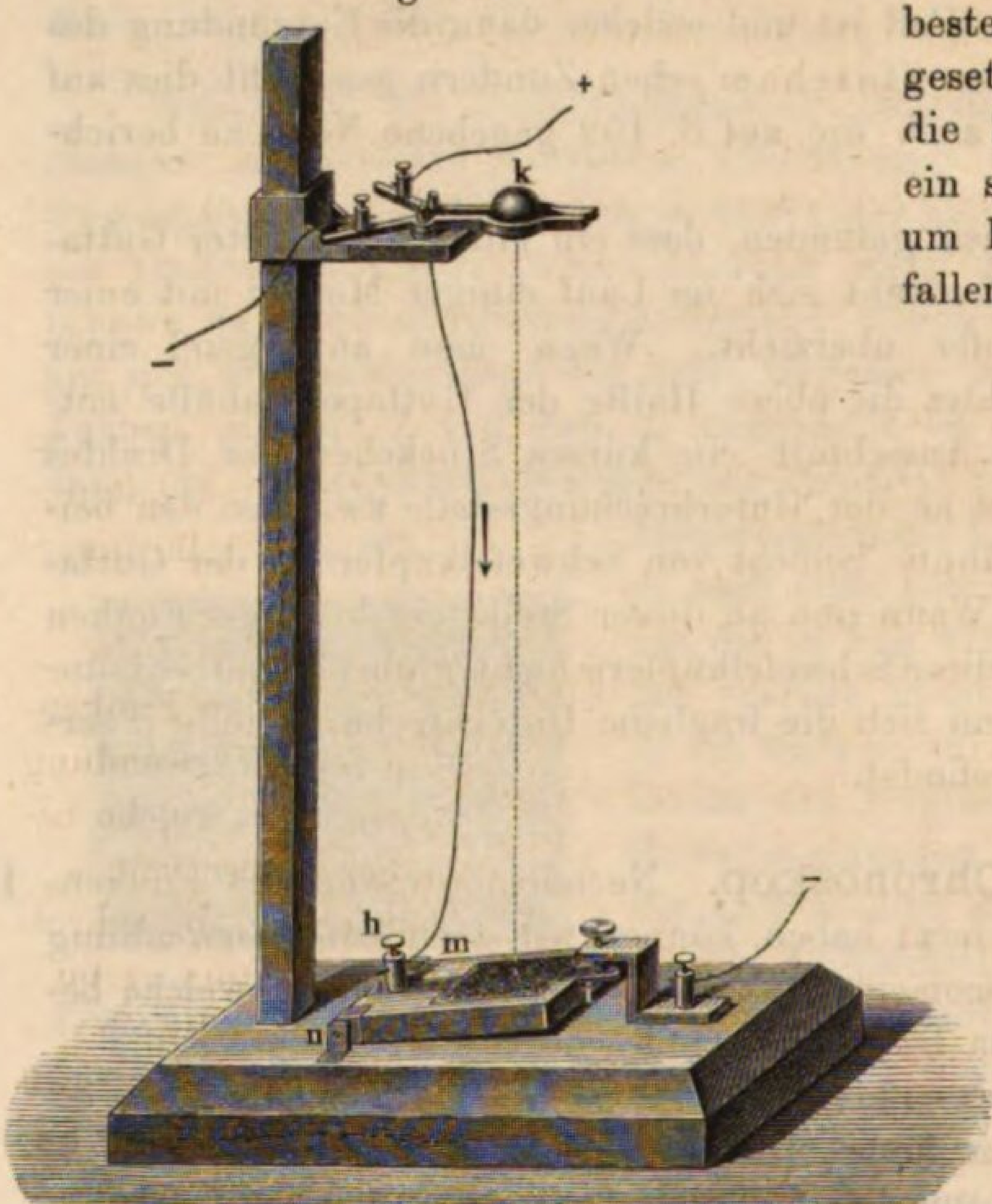
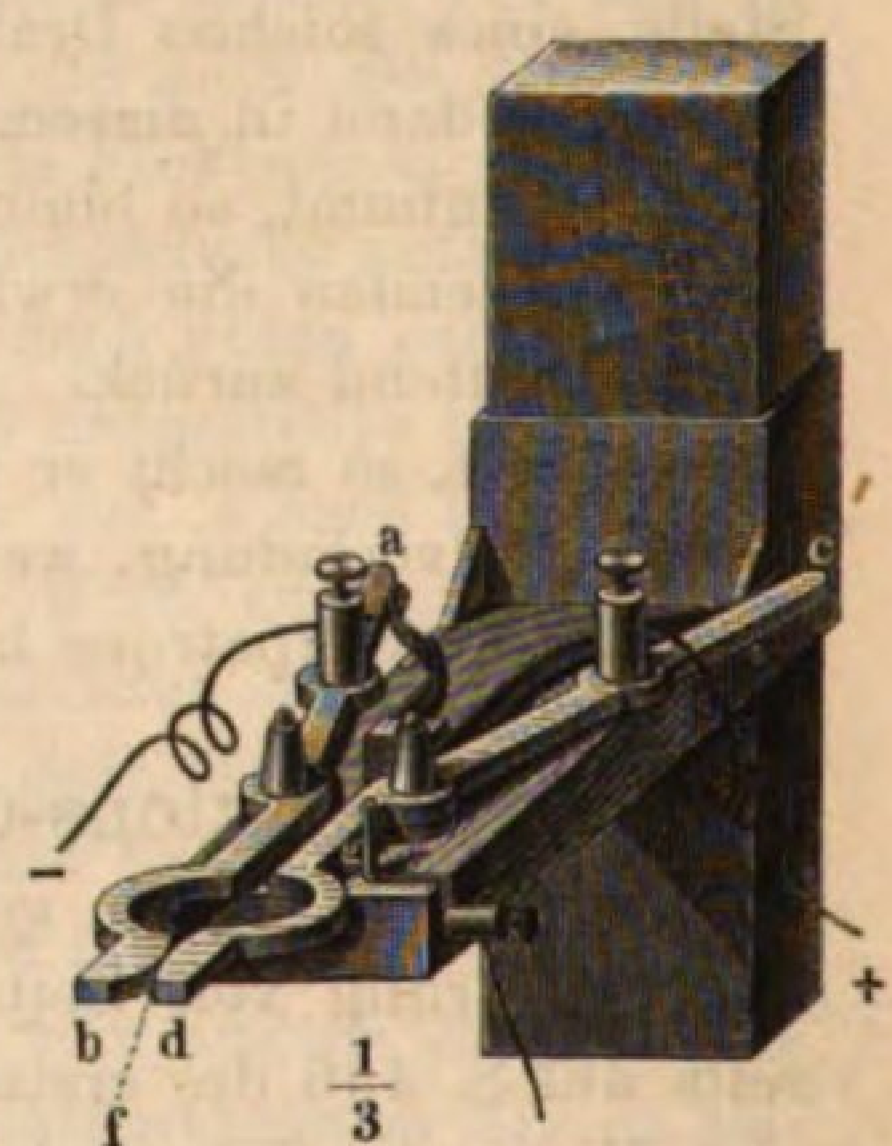


Fig. 478.



Zur Ausführung dieser Versuche lässt sich die in Fig. 477 und Fig. 478 dargestellte Modification des in Fig. 371, S. 419 nur schematisch angedeuteten Hipp'schen Fallapparates anwenden.

An einem verticalen, etwas über 1 Meter hohen Stabe, welchen Figur 477 im Verhältniss zu den übrigen Dimensionen des Apparates nicht hoch genug darstellt, ist eine Hülse verschiebbar, die in jeder beliebigen Höhe festgestellt werden kann, und welche die in Fig. 478 in grösserem

Maassstabe dargestellte Vorrichtung zum Fallenlassen der Kugel trägt. Zwei horizontale Messinghebel *ab* und *dc*, deren jeder um einen verticalen Zapfen drehbar ist, werden hinten bei *a* und *c* durch zwei von einander isolirte Metallfedern auseinander gedrückt und dadurch zwei an ihren vorderen Enden befindliche Backen bei *f* in metallische Berührung gebracht. Ist nun in die auf dem Hebel *cd* aufsitzende Schraubklemme ein zum positiven Pol der Säule führender Draht eingeschraubt, so geht der positive Strom bei *f* vom Hebel *cd* auf den Hebel *ab* über, von diesem in die Hauptspirale des Inductionsapparates und von dieser endlich zum negativen Pol der Säule zurück.

Die gläserne oder steinerne Kugel, mit welcher man den Fallversuch anstellen will, wird nun auf einen Ring gelegt, welcher durch eine etwas hinter *f* befindliche halbkreisförmige Ausbiegung der beiden Hebel gebildet wird. Der Durchmesser dieses Ringes darf kaum merklich kleiner sein, als der Durchmesser der Kugel.

Während nun die Trommel des Phonautographen in Rotation und die Stimmgabel in Vibration ist, werden die beiden Hebel bei *a* und *c* mit der Hand gegeneinander gedrückt. In Folge davon beginnt die Kugel sogleich zu fallen, während der Strom bei *f* unterbrochen und durch den entsprechenden Inductionsfunken dieser Moment markirt wird.

Durch das Gegeneinanderdrücken der beiden Hebel bei *a* und *c* wird aber der vordere Theil des Hebels *cd* mit dem Platinstift *g* in Berührung gebracht, von welchem aus eine Leitung zu der Klemmschraube *h*, Fig. 477, führt. Gleich nachdem also der Strom bei *f* unterbrochen worden ist, wird er in anderer Weise wieder geschlossen; er geht nämlich von *g* nach *h*, von da durch einen Metallstreifen nach *i*, wo ein Platinstift auf dem Metallstreifen aufsitzt, von welchem aus dann der Strom zur Hauptspirale des Inductionsapparates geführt wird.

Der Metallstreifen *hi*, Fig. 477, ist in der Mitte eines Brettchens eingelassen, auf welches die oben losgelassene Kugel fällt. Dieses Brettchen ist um eine horizontale Axe *nm* drehbar und wird durch eine von unten nach oben drückende, in unserer Figur nicht sichtbare Feder bei *i* schwach gegen den Platinstift angedrückt. Durch das Aufschlagen der Kugel auf das Fallbrett wird dasselbe vorn etwas herabgedrückt und dadurch der Strom bei *i* unterbrochen, in Folge dessen dann der Moment des Aufschlagens markirt wird.

Es versteht sich von selbst, dass man den hinteren Theil der beiden Hebel *ab* und *cd* dem Druck der Federn entgegen mit dem Finger gegen einander gedrückt halten muss, bis die Kugel unten aufgeschlagen ist, damit der Strom nicht schon vor dem Aufschlagen bei *g* wieder unterbrochen werde.

An den Stellen, an welchen die Unterbrechung des Hauptstroms erfolgt, also bei *f*, *g* und *i*, müssen auf entsprechende Weise Platinblättchen aufgelöthet sein, weil die Messingoberfläche durch die hier auftretenden Funken zu bald oxydirt werden würde.

An der Stelle, wo die Kugel auf das Fallbrett aufschlägt, ist ein Stückchen Tuch aufgeleimt.

Damit der verticale Stab des Apparates beim Loslassen der Kugel nicht in Schwankungen geräth, muss sein oberes Ende in entsprechender Weise befestigt werden.

Zur Messung der Fallhöhen kann ein am verticalen Stabe angebrachter Maassstab dienen; ich habe es aber für zweckmässiger gefunden, Stäbchen von genau gemessener Länge auf das Fallbrett bei *o* aufzusetzen, während durch eine passende Unterstützung das Herabdrücken des Fallbrettes verhindert ist, und dann den Schieber mit der Fallvorrichtung herabzulassen, bis der unterste Punkt der Kugel gerade auf dem oberen Ende des fraglichen Stäbchens aufsteht.

Bei einer in der angegebenen Weise ausgeführten Versuchsreihe ergab sich, dass die Stimmgabel 28,8 Schwingungen machte (Mittel aus mehreren, nicht um 0,2 Vibrationen differirenden Versuchen), während die Kugel 1 Meter hoch herabfiel.

Nach der auf Seite 436 des ersten Bandes besprochenen Methode ergab sich, dass die zu obigem Versuch angewandte Stimmgabel 63,9 Schwingungen in der Secunde machte (21,3 Schwingungen auf jede Oscillation des Wacklers, dessen Kugel so gestellt war, dass er 180 Oscillationen in der Minute machte). Daraus aber ergiebt sich für den Fallraum der ersten Secunde der Werth

$$s = \frac{63{,}9^2}{28{,}8^2} = 4{,}92,$$

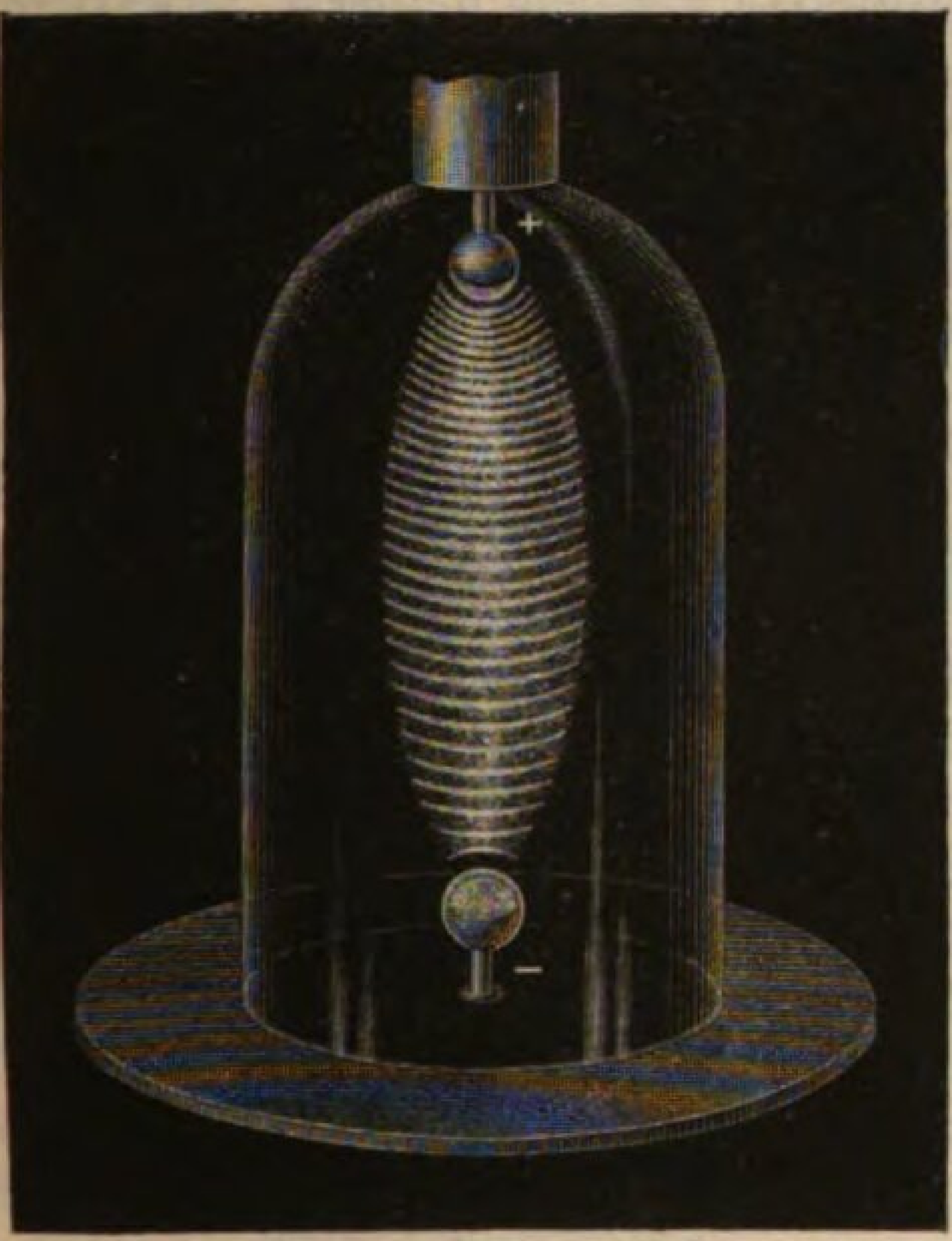
was von dem wahren Werthe 4,9 nur um 0,4 Proc. differirt, ein Resultat, welches gewiss für die Brauchbarkeit der Methode spricht, wenn man bedenkt, dass es durch eine erste, eigentlich nur vorläufige Versuchsreihe erzielt wurde und dass die angewandten Apparate noch mannigfacher Verbesserungen fähig sind.

176 **Der Inductionsfunken im leeren Raum.** Eine prachtvolle Erscheinung beobachtet man, wenn man den Strom des Funkeninductors durch den leeren Raum leitet. Man kann zu diesem Versuche das bereits oben Seite 178 beschriebene elektrische Ei anwenden oder auch eine Glasglocke, welche mit einer Stopfbüchse versehen ist, durch welche ein unten eine Kugel tragender Stab hindurchgeht; bei Anwendung einer solchen Glocke wird dann in die centrale Oeffnung des Luftpumpentellers ein kurzes Stäbchen eingesteckt, welches die untere Kugel trägt, wie dies Fig. 479 zu sehen ist. Der Luftpumpenteller wird mit dem einen, die Fassung der Glocke mit dem anderen Pole des Funkeninductors in leitende Verbindung gebracht. Von den beiden Kugeln, zwischen welchen die Elektricität übergehen soll, muss jeder Firnissüberzug entfernt sein.

Wenn so weit ausgepumpt ist, dass die Barometerprobe bis auf 1, höchstens 2 Millimeter heruntergegangen ist und die positive Elektri-

cität von der oberen Kugel zur unteren herabströmt, so beobachtet man die Erscheinung, wie sie Fig. 479 abgebildet ist. Die negative Kugel erscheint von einem tiefblauen Lichte eingehüllt, von der positiven

Fig. 479.



Kugel aber strömt ein purpurrother Lichtschein aus, der beinahe bis zur negativen Kugel reicht und in welcher man eine schwarze Streifung wahrnimmt, welche besonders deutlich hervortritt, wenn man vor dem Auspumpen einige Tropfen Alkohol, Aether oder Terpentinöl in den Recipienten gebracht hatte.

Diese Streifung beobachtet man selbst in dem Falle, dass die Lichterscheinung nur momentan durch eine einmalige Unterbrechung des Hauptstromes hervorgebracht wird.

Selbst kleinere Inductionsapparate, z. B. der Fig. 470 abgebildete, reichen hin, um die eben beschriebene Lichterscheinung im leeren Raume hervorzubringen.

Das rothe Licht des positiven Poles ist von der blauen Hülle der negativen Kugel stets durch einen vollkommen dunkeln Zwischenraum getrennt.

Das eben beschriebene elektrische Licht ist durch einen bedeutenden Gehalt an violetten und ultravioletten Strahlen ausgezeichnet, weshalb es die Erscheinungen der Fluorescenz in ausgezeichneter Weise hervorzurufen im Stande ist.

Eine sehr schöne Modification des in Fig. 479 dargestellten Versuchs besteht darin, dass man auf den Teller der Luftpumpe zunächst ein Stück Drahtnetz legt und auf dieses einen Becher von Uranglas setzt, wie Fig. 480 (a. f. S.) zeigt. Der durch die Stopfbüchse herabgehende, unten mit einer isolirenden Glasröhre umgebene Messingstab wird dann soweit herabgeschoben, dass die Kugel, welche er trägt, auf dem Boden des Becherglases aufsitzt. Wenn man nun, nachdem die Glocke gehörig evacuirt ist, den Körper der Luftpumpe mit dem negativen, den Messingstab *m* mit dem positiven Pol des Inductors in Verbindung setzt, so strömt das purpurne Licht in Form einer Cascade über den Rand des Glases, welches im Gegensatz zu diesem rothen Feuerstrom im herrlichsten grünen Lichte strahlt.

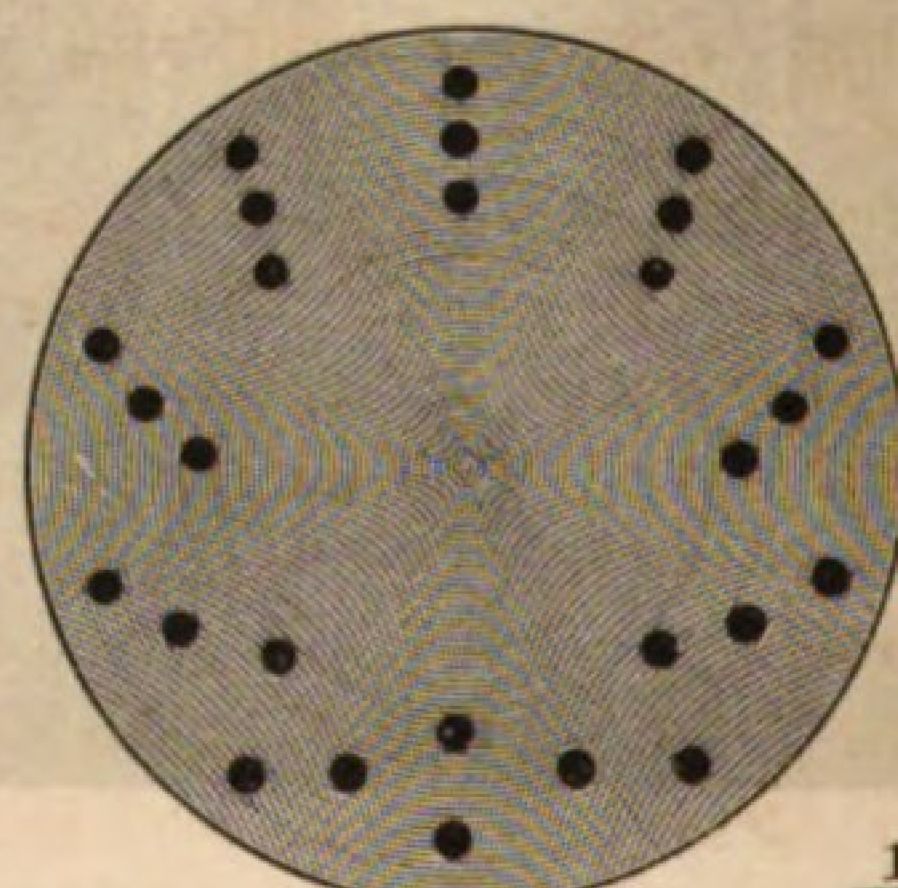
Obgleich man auf den ersten Anblick glauben könnte, dass ein continuirlicher Lichtstrom von dem positiven Pole ausgesendet wird, so kann

man sich doch leicht davon überzeugen, dass dies nicht der Fall ist. Die Lichterscheinung tritt stossweise bei jeder Unterbrechung des Hauptstromes auf; bei der raschen Bewegung des Unterbrechers folgen aber diese Lichtblitze so rasch auf einander, dass man sie nicht mehr als einzelne unterscheiden kann. Dass die Sache sich in der That so verhält, geht unter anderen auch daraus hervor, dass wenn man in der Nähe des durchströmten Recipienten irgend einen Gegenstand, etwa eine Hand, hin und her bewegt, man dieselbe vielfach zu sehen glaubt. Am schlagendsten hat es Poggendorff auf folgende Weise dargethan. Eine

Fig. 480.



Fig. 481.



$\frac{1}{10}$

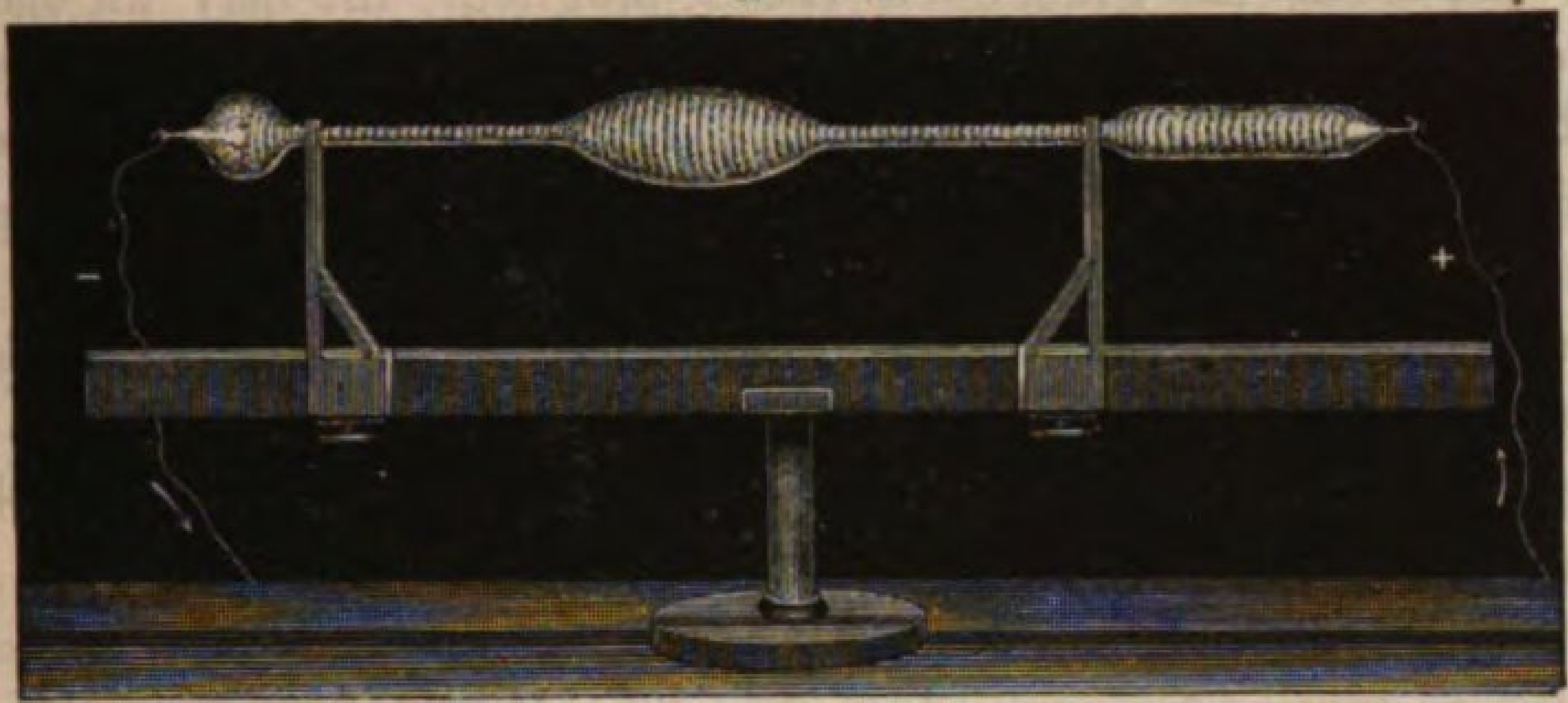
weisse Pappscheibe von ungefähr 8 Zoll Durchmesser ist in drei concentrischen Kreisen mit schwarzen runden Flecken bemalt, wie es Fig. 481 zeigt. Der äussere Kreis enthält deren 10, der mittlere 9, der innere 8. Dreht man nun die Scheibe mit langsam gesteigerter Schnelligkeit, so wird man bald dahin kommen, dass die Flecke des mittleren Kreises still zu stehen scheinen, während die des äusseren vorwärts, die des inneren rückwärts laufen. Diese Erscheinung muss offenbar eintreten, wenn die Scheibe während einer Vibration des Hammers gerade um 40^0 gedreht wird.

Um den leeren Raum nicht jedesmal mit Hülfe der Luftpumpe herstellen zu müssen und stets evacuirte Räume für den Versuch bereit zu haben, hat zuerst Gassiot und später Geissler evacuirte, zugeschmolzene Glasröhren hergestellt, in welchen sich verschiedene Gase in sehr verdünntem Zustande befinden und in welchen Platinelektroden ein- für allemal eingeschmolzen sind. Zur Herstellung dieser Röhren hat Geissler die bereits im ersten Bande besprochene Quecksilberluftpumpe construirt. Fig. 482 stellt eine solche Röhre, deren man in den mannigfaltigsten Formen hergestellt hat, dar. Mit den Geissler'schen Röhren

lassen sich mancherlei Versuche anstellen, zu denen das Vacuum in der Luftpumpenglocke nicht geeignet ist.

Auch hier zeigt sich das violette Glimmlicht am negativen Poldraht, während von dem positiven Poldraht ein Lichtstrom ausgeht,

Fig. 482.



in welchem man die vorher besprochene Schichtung des elektrischen Lichtes meist in ausgezeichneter Weise beobachtet. Fig. 3 auf Tab. I. ist eine möglichst getreue Abbildung dieser schönen Erscheinung, wie man sie in einer luft- oder stickstoffhaltigen Röhre beobachtet.

Die Farbe des vom positiven Pole ausgehenden Lichtstromes hängt von verschiedenen Umständen ab, und zwar zunächst davon, welches Gas in verdünntem Zustand die Röhre erfüllt, so ist sie z. B. bleichweissgrau in Röhren, welche Quecksilberdampf enthalten. Ferner hängt die Färbung des Lichtstroms von der Weite der Röhren ab; so erscheint z. B. der Lichtstrom in dem engen Theil der mit verdünntem Wasserstoffgas gefüllten Röhre Fig. 698 auf Seite 629 des ersten Bandes prachtvoll purpurroth, während er in dem weiteren Theile der Röhre von blassblaugrüner Färbung erscheint.

Endlich hängt die Färbung des Lichtstromes auch von der Intensität des Stromes ab, welcher durch das verdünnte Gas entladen wird; die intensiv purpurrothe Färbung, welche man in dem engen Theil der Wasserstoffröhre beobachtet, wenn man kräftige Inductionsströme anwendet, wird matter und mehr orangeroth für schwächere Ströme und blassbläulich, wenn man die Funken vom Conductor der Elektrisirmaschine durchschlagen lässt.

Bei fortgesetztem Durchleiten des Stromes in derselben Richtung bedeckt sich bald die Glaswand, welche die negative Elektrode umgiebt, mit einem metallischen Anflug, während die Elektrode selbst rauh und corrodirt erscheint. Die Farbe des Anflugs entspricht der des fein vertheilten Metalles der Elektrode; er ist bläulich bei Silber, schwärzlich bei einer Platinelektrode. — Eine negative Elektrode von Aluminium scheint verhältnissmässig wenig corrodirt zu werden.

Die Spectralanalyse des elektrischen Lichtes in verschiedenen Gasen ist bereits im ersten Bande S. 629 besprochen worden. Plücker und Hittorf haben die wichtige Entdeckung gemacht, dass es mehrere

elementare Substanzen giebt, welche in gasförmigem Zustande bei verschiedener Erhitzung ganz verschiedene Spectra liefern (Phil. Trans. for 1865). Zunächst haben sie diese Erscheinung für Stickstoff näher untersucht.

Um das Licht des glühenden Gases möglichst intensiv zu erhalten, wurden die Spectralröhren (Fig. 698 des ersten Bandes) weit kürzer gemacht als gewöhnlich, während das Gas nur bis zu einem Druck von 40 bis 80 Millimeter evacuirt und ein kräftiger Ruhmkorff'scher Apparat in Anwendung gebracht wurde. Zur prismatischen Zerlegung des Lichtes diente ein grosser Spectralapparat mit zwei oder vier Prismen und einem Fernrohr von 18maliger Vergrösserung.

Fig. 2 auf Tab. II. zeigt das Stickstoffspectrum, wie es erhalten wird, wenn man die Entladung eines grossen Ruhmkorff'schen Apparates direct, d. h. ohne Anwendung einer Leydener Flasche, durch die Stickstoffröhre hindurchsendet. Die mit Na, $H\alpha$, $H\beta$ und $H\gamma$ bezeichneten Stellen des Spectrums sind diejenigen, auf welche die Natriumlinie und die drei Wasserstofflinien fallen.

Der brechbare Theil des Spectrums erscheint in 15 schattirte ungleich breite Bänder getheilt (nämlich ausser dem, auf dessen Mitte ungefähr $H\beta$ fällt, drei schmälere nach dem weniger gebrochenen und 11 nach dem mehr gebrochenen Ende des Spectrums hin), welche ein cannelirtes Ansehen haben (ungefähr so aussehend wie die Cannelirung einer dorischen Säule), indem die Intensität des Schattens von dem brechbareren Ende eines jeden Bandes gegen das andere Ende hin allmälig abnimmt. Die Streifen im weniger gebrochenen Theil des Spectrums sind schmäler unter sich nahezu gleich breit, und haben ein etwas anderes Ansehen als die breiten Streifen im blauen Theil des Spectrums.

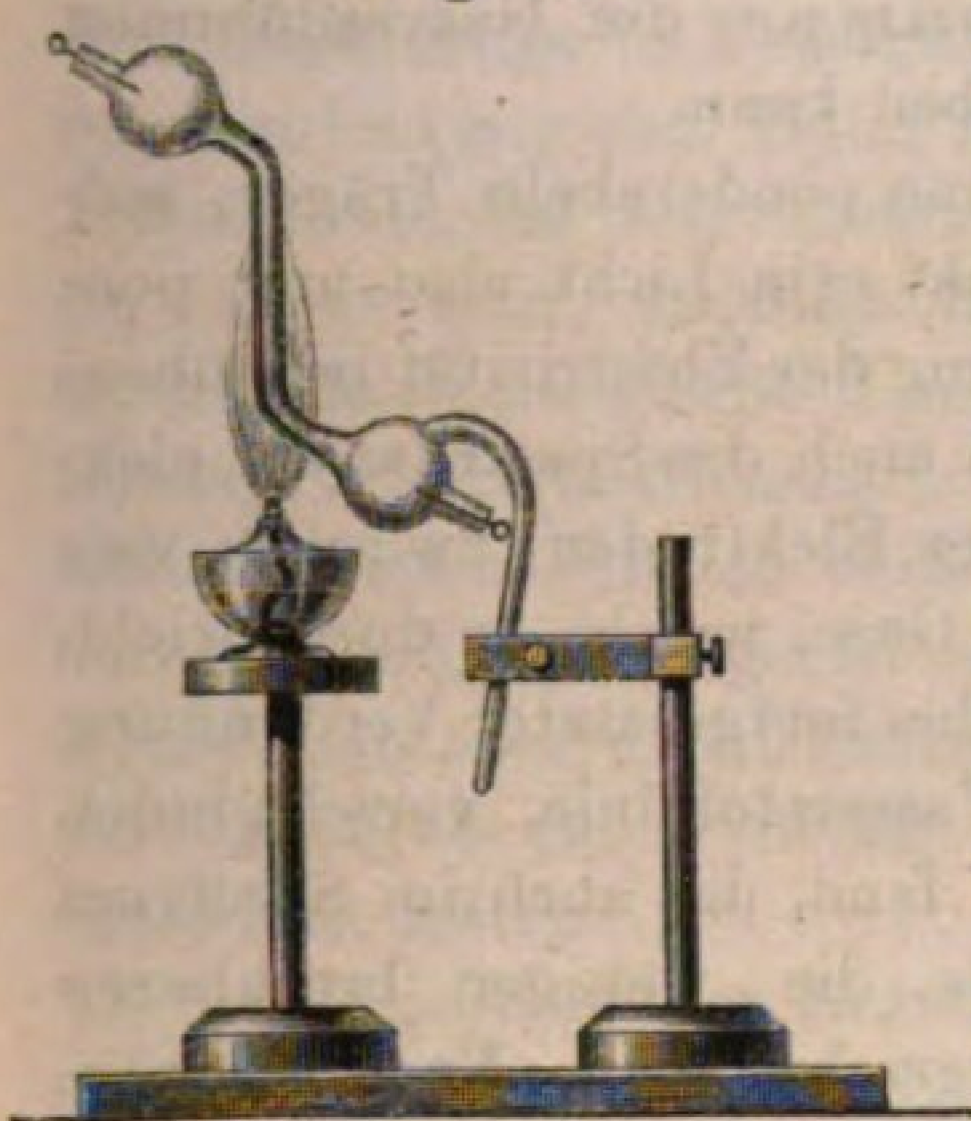
Wenn nun aber anstatt die Entladung des Inductionsapparates direct durch die Stickstoffröhre zu senden in der durch Fig. 473 S. 516 erläuterten Weise noch eine Leydener Flasche eingeschaltet wird, so erscheint ein Spectrum, welches in Fig. 1 auf Tab. II. dargestellt ist und welches mit dem Spectrum Fig. 2 nicht die entfernteste Aehnlichkeit hat, denn statt der schattirten Bänder erscheinen jetzt schmale helle Linien auf dunklem Grunde, unter welchen fünf Hauptgruppen zu unterscheiden sind, die in unserer Figur mit I, II, III, IV und V bezeichnet wurden. In Betreff dieser Figur ist noch zu bemerken, dass wegen der Kleinheit des Maassstabes die meisten dieser hellen Linien etwas zu breit ausgefallen sind und dass hier und da ganz nahe zusammenstehende Linien zu einer einzigen zusammengezogen erscheinen.

Das Spectrum Fig. 2 bezeichnet Plücker als das Stickstoffspectrum erster, das in Fig. 1 dargestellte als Stickstoffspectrum zweiter Ordnung.

Um die beiden Spectra des Schwefeldampfes zu beobachten, wandten Plücker und Hittorf folgendes Verfahren an. Eine kurze, doppelt gebogene Spectralröhre von der in Fig. 483 dargestellten Form, welche

etwas Schwefel enthält und in welcher die Luft so weit als möglich verdünnt worden war, wurde durch eine Weingeistlampe erwärmt, wie es die Figur erläutert. Wenn man nun durch die in Folge der Erwärmung gebildeten Schwefeldämpfe die directe Entladung des Ruhmkorff'schen Apparates hindurchsandte, so erschien zunächst ein schönes Spectrum erster Ordnung, in welchem hier und da helle Linien des Spectrums zweiter Ordnung aufblitzten, wenn die Erwärmung gesteigert wurde. Bei hinlänglicher Temperaturerhöhung verschwand das Spectrum erster Ordnung gänzlich und nur das Schwefelspectrum zweiter Ordnung blieb übrig, welches noch reicher an hellen Linien ist als das entsprechende Stickstoffspectrum.

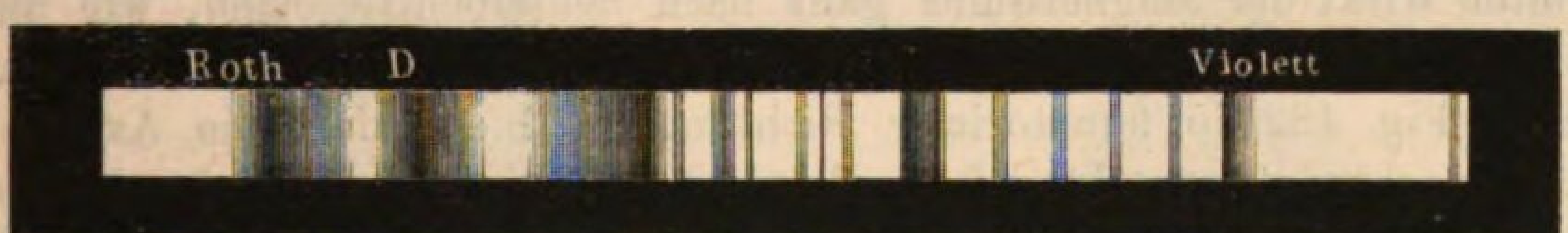
Fig. 483.



Wie Schwefel so zeigt auch Selen zwei Spectra. Phosphor zeigt in gleicher Weise behandelt wie Schwefel unter allen Umständen nur ein Spectrum zweiter Ordnung. Ebenso Arsenik, Chlor, Brom und Jod etc.

Die Farbe des blauen Glimmlichtes am negativen Pole ist nach Dove dieselbe, aus welchem Metall auch dieselbe bestehen mag. Fig. 484 stellt das Spectrum des blauen Glimmlichtes nach einer Zeichnung von van der Willigen dar. Mit D ist die Stelle der Natriumlinie bezeichnet.

Fig. 484.



Von besonderem Interesse sind die Versuche, welche Plücker mit Geissler'schen Röhren anstellte, welche verdünntes Sauerstoffgas enthielten. Nachdem der Strom des Ruhmkorff'schen Apparates eine Zeit lang hindurchgegangen war, begann das Licht rasch an Intensität abzunehmen; alsbald kamen nur noch einzelne Entladungen zu Stande, bis zuletzt nach $1^1/_4$ Stunden der Strom ganz aufhörte durch die Röhre hindurchzugehen (Poggend. Annal. CIV, S. 127).

Aehnliches beobachtete Gassiot, indem er eine Geissler'sche Röhre mit sehr verdünnter Kohlensäure füllte und in eine seitlich an derselben angeschmolzene Kugel ein Stückchen von reinem Kalihydrat einbrachte. Die im Rohre sich zeigende leuchtende Entladung verschwand völlig, als das Kalihydrat geschmolzen, durch Neigen des Rohrs in demselben ausgebreitet und abgekühlt wurde, so dass die letzten Reste von Kohlensäure absorbirt wurden.

Im völlig luftleeren Raum geht also keine Elektricität über.

Auf S. 214 des ersten Bandes ist bereits angeführt worden, dass man mit Hülfe der Quecksilber-Luftpumpe die Gasverdünnung bis zum Verschwinden der Stromleitung treiben kann.

Es giebt also kein elektrisches Licht ohne ponderabeln Träger, welcher leuchtet. Der elektrische Funke verdankt sein Licht also nur ponderabeln Theilchen, welche durch den Uebergang der Elektricität in glühenden Zustand versetzt werden, und deshalb ist auch das Spectrum des elektrischen Funkens abhängig von der Natur der Elektroden, zwischen welchen er überschlägt, und von der Natur der Gase, welche er durchbricht.

Schon Plücker hatte beobachtet, dass bei fortgesetzter Verdünnung des Wasserstoffgases zuerst die rothe Wasserstofflinie verschwindet. Waltenhofen (Poggend. Annal. CXXVI) fand, das auch im Spectrum des Stickstoffs und des Quecksilberdampfes die weniger brechbaren rothen und orangefarbenen Strahlen zuerst verschwinden. Nach $H\alpha$ verschwand im Wasserstoffspectrum zunächst $H\gamma$ und auch im Stickstoffspectrum verschwand nach dem rothen zunächst das violette Ende des Spectrums.

Ferner fand Waltenhofen, dass die Schichtung des elektrischen Lichtes bei fortgesetzter Verdünnung unregelmässig und intermittirend wird und dann allmälig verschwindet, indem sie sich in einen continuirlichen Lichtstrom auflöst, der endlich selbst erlischt.

177 **Einwirkung des Magnets auf die elektrische Entladung in verdünnten Gasen.** Auf den Lichtstrom in den Geissler'schen Röhren wirkt der Magnetismus ganz nach denselben Gesetzen, wie auf bewegliche Stromleiter überhaupt. Wenn man z. B. eine Röhre von der Form Fig. 482 in äquatorialer Richtung (d. h. so dass die Axe der Röhre rechtwinklig steht auf der durch die Verbindungslinie der beiden Pole des Elektromagnets gelegten Verticalebene) mit ihrem ellipsoidisch erweiterten mittleren Theil zwischen die genäherten Halbanker des Elektromagnets bringt, so wird der Lichtstrom je nach seiner Richtung und der Polarität des Elektromagnets entweder nach oben oder nach unten abgelenkt, ähnlich wie es mit der in §. 174 besprochenen Lichthülle des Inductionsfunkens geschieht.

Unter entsprechenden Umständen rotirt der im verdünnten Raum übergehende Lichtstrom des Inductionsapparats eben so um einen Magnetpol, wie dies auch beim galvanischen Flammenbogen oder irgend einem anderen beweglichen Leiter der Fall ist.

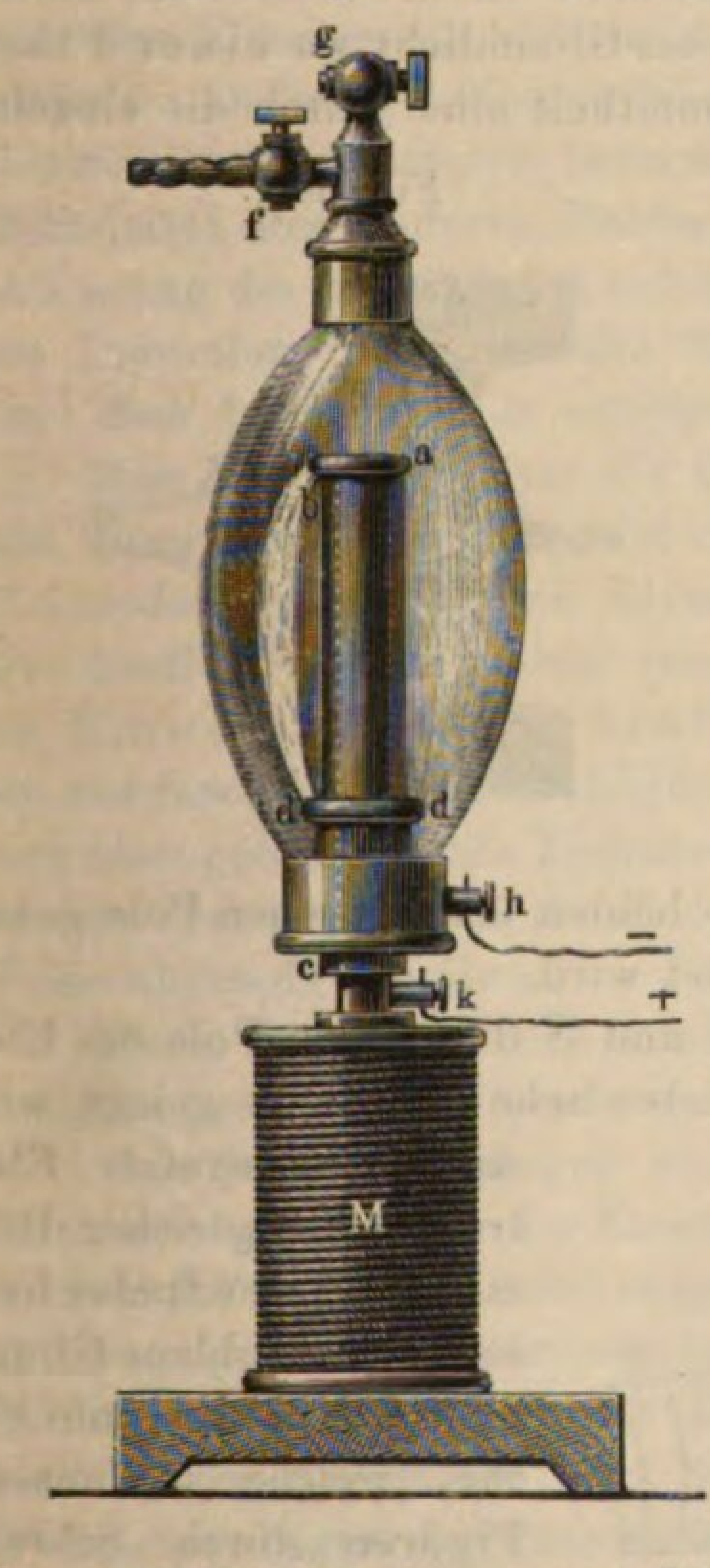
Es lässt sich dies sehr schön mit dem von De la Rive angegebenen Apparat, Fig. 485, zeigen. Der Eisenkern des Elektromagnets M ist durch einen ungefähr 2 Cm. dicken, oben eine überragende Platte a tragenden Eisenstab verlängert, welcher in einer wohl isolirenden Glasröhre bc steckt. Der ganze obere Theil dieses von Glas umgebenen Eisenstabes befindet sich nun im Inneren eines elektrischen Eies, mit dessen unterer

Messingfassung der die Glasröhre umfassende Messingwulst dd in leitender Verbindung steht. Die obere Fassung des elektrischen Eies ist mit zwei Hähnen versehen. Durch den Hahn f kann das elektrische Ei mit einer Luftpumpe in Verbindung gesetzt werden, durch den Hahn g, dessen Einrichtung dem Hahn Fig. 118, S. 121 ähnlich ist, kann man einige Tropfen Alkohol oder Aether in das Innere des Eies bringen.

Wenn man, nachdem das Ei evacuirt ist, die auf dem Eisenkern sitzende Klemmschraube k mit der positiven, die auf der unteren Messingfassung befestigte Klemmschraube h mit der negativen Elektrode des Funkeninductors in leitende Verbindung setzt, so geht eine mehr oder weniger unregelmässige Lichtgarbe von der Platte a zum Messingring dd herab; sobald man aber den Elektromagnet in Thätigkeit setzt, concentrirt sich das Licht zu einem hellen Bande, welches um den nun magnetischen Eisenkern rotirt.

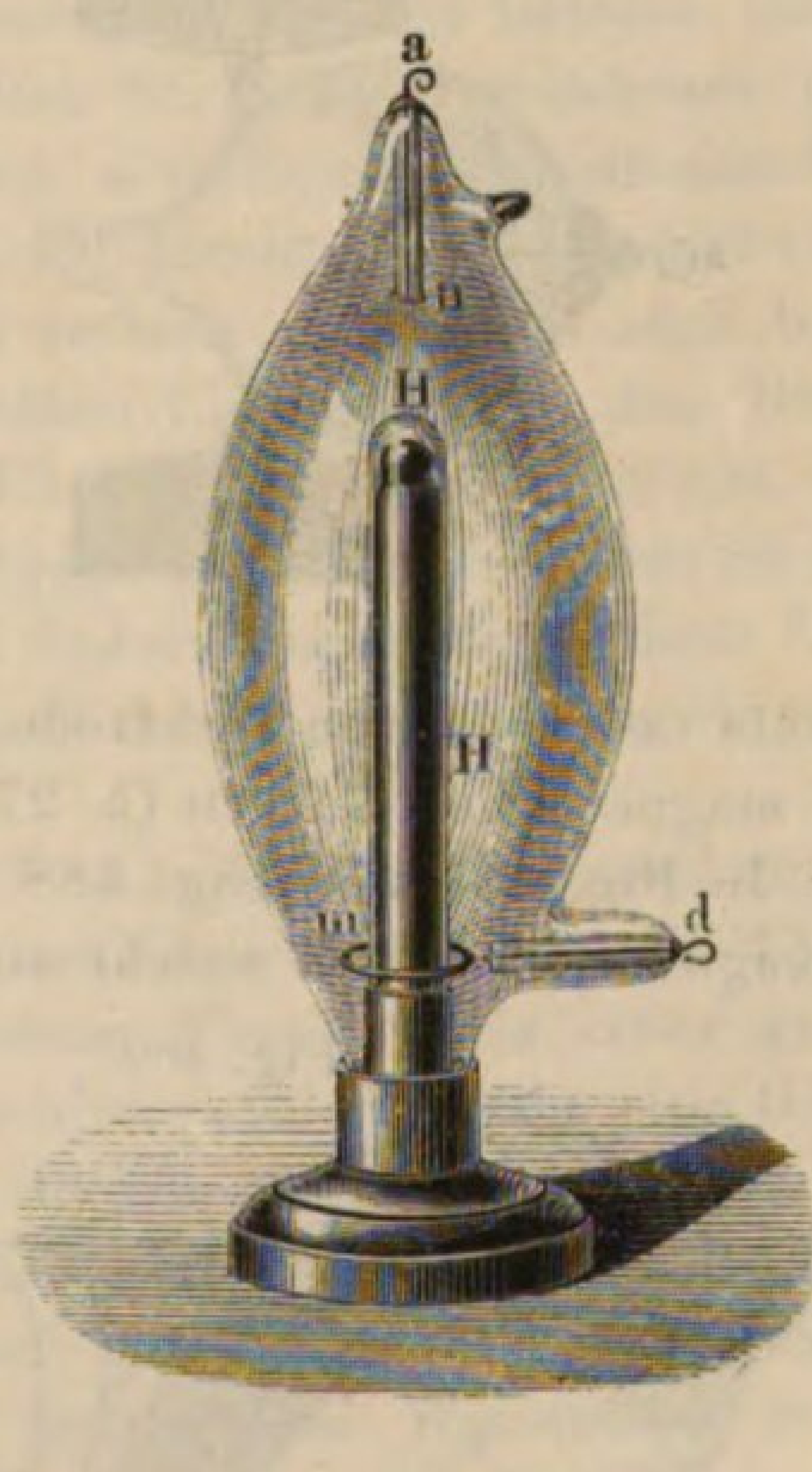
Die Richtung der Rotation folgt den bekannten Gesetzen; sie wird umgekehrt, wenn man entweder die Polarität des Elektromagnets oder die Stromrichtung des Inductionsapparates umkehrt.

Fig. 485.



Einen sehr bequemen Apparat zur Hervorbringung dieser Rotation, welcher ein- für allemal evacuirt ist, hat Geissler construirt. In ein ringsum verschlossenes Gefäss, Fig. 486, sind Platindrähte a und d luftdicht eingeschmolzen, von denen der untere einen im Inneren des evacuirten Gefässes befindlichen kreisförmig

Fig. 486.



gebogenen Messingdraht *m* trägt, während an dem unteren Ende des Zuleitungsdrahtes *a* eine kleine Messingplatte befestigt ist. Der obere Zuleitungsdraht ist bis auf dieses Messingplättchen, der untere ist bis zum Ring *m* ganz mit einer isolirenden Glashülle umgeben. Von unten her ragt in den evacuirten Raum eine oben geschlossene Glasröhre *H* hinein, in welche ein Stab von weichem Eisen eingekittet ist. Dieser Eisenstab reicht bis zur unteren Fläche des Holzfusses hinab, welcher den ganzen Apparat trägt, er wird also zu einem Magnet, wenn der Apparat auf den Pol eines kräftigen Elektromagnets aufgesetzt wird. Man hat also nur die Drähte *a* und *d* mit den Drahtenden der Inductionsspirale zu verbinden, um die fragliche Rotationserscheinung zu beobachten.

Ganz anders verhält sich, wie Plücker gezeigt hat (Poggend. Annal. CIII.), das in mancher Beziehung noch räthselhafte blau-violette Glimmlicht der negativen Elektrode. In einer Geissler'schen Röhre erscheint der negative Poldraht, so weit er frei in das Innere des verdünnten Raumes hineinragt, von dem blau-violetten Lichte eingehüllt, welches auch hier durch einen dunklen Zwischenraum von dem geschichteten Lichte der positiven Elektrode getrennt ist. Unter dem Einfluss eines kräftigen Elektromagnets wird dieses Glimmlicht zu einer Fläche ausgebreitet, welche durch die Gesammtheit aller durch die einzelnen

Fig. 487.

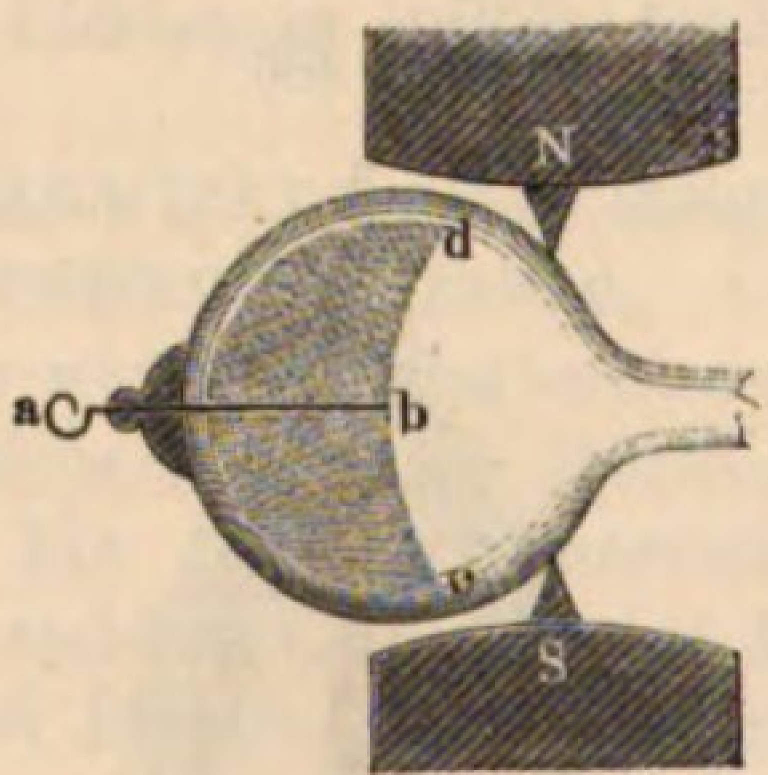
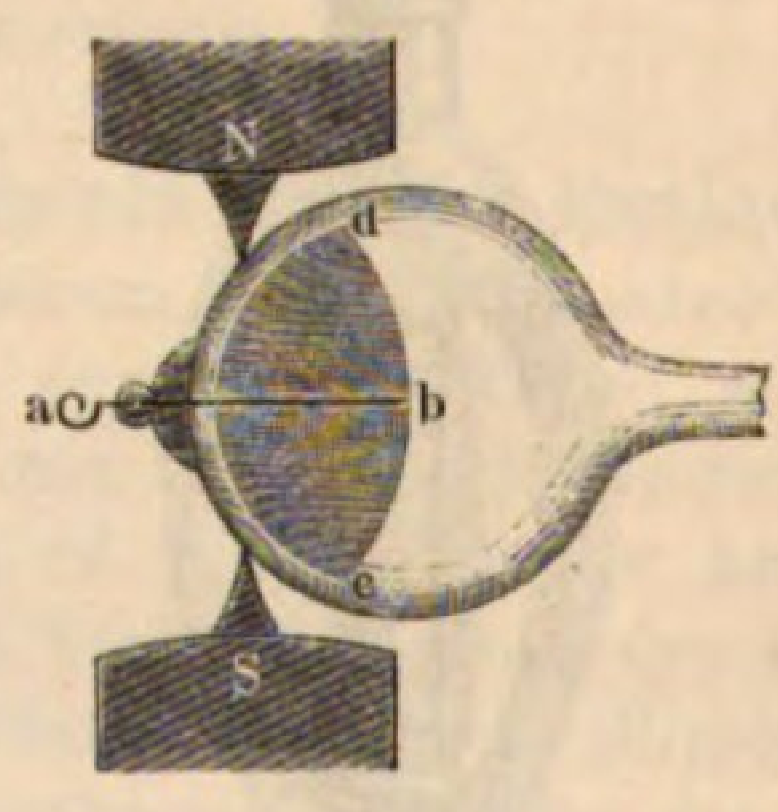


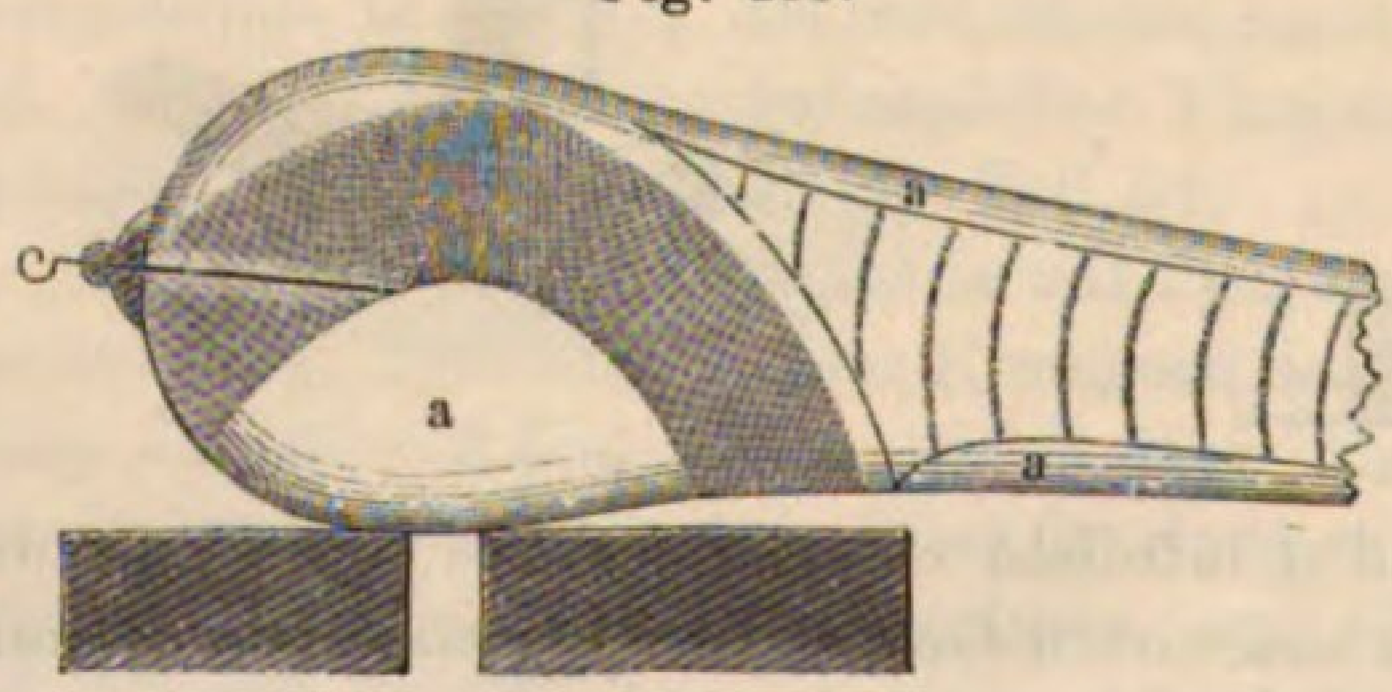
Fig. 488.



Punkte der negativen Elektrode und die beiden magnetischen Pole gehenden magnetischen Curven (§. 27) gebildet wird.

In Fig. 487 und Fig. 488 seien *N* und *S* die beiden Pole des Elektromagnets, zwischen welche eine Geissler'sche Röhre so gelegt wird, dass die negative Elektrode *ab* in gleicher Höhe mit den Magnetpolen liegt, so bildet das blaue Glimmlicht eine horizontale Fläche, welche in unseren Figuren durch Schraffirung angedeutet ist. Die durch den Endpunkt *b*

Fig. 489.



der negativen Elektrode gelegte magnetische Curve *ebd* bildet die Grenzlinie der Lichtfläche.

Wird die Geissler'sche Röhre in axialer Lage auf die Halbanker des Elektromagnets aufgelegt, so nimmt die Fläche, in welcher das blaue Licht ausgebreitet wird, die in Fig. 489 angedeutete Gestalt an.

Da, wo die unter dem Einfluss des Elektromagnets gebildete Lichtfläche die Glaswände des Rohres berührt, wird die zerstäubte Materie der negativen Elektrode abgelagert.

Alternirende Ströme. Alle bis jetzt besprochenen Lichterscheinungen in Geissler'schen Röhren rühren von einfach gerichteten Strömen her, weil nur der Oeffnungsschlag Intensität genug besitzt, eine Entladung durch die Röhre hindurch zu bewirken. Unter Umständen können aber auch abwechselnd gerichtete Ströme (auch alternirende oder recurrente Ströme genannt) in den Geissler'schen Röhren auftreten, so z. B., wenn man zwischen der Inductionsspirale und dem Geissler'schen Rohr eine Leydener Flasche in der Art einschaltet, dass man von dem einen Pol der Inductionsspirale einen Draht zur inneren und von der einen Elektrode der Röhre einen solchen zur äusseren Belegung der Flasche führt. Bei jedem Oeffnungsschlag wird die Flasche geladen und die abgestossene Elektricität der äusseren Belegung gleicht sich durch die Röhre mit der Elektricität des anderen Poldrahts aus. Bevor nun aber die Wiederschliessung des Hauptstroms erfolgt, entladet sich die Flasche wieder durch den Inductionsdraht und die Röhre hindurch, so dass letztere nun in einer dem Ladungsstrom entgegengesetzten Richtung durchströmt wird. 178

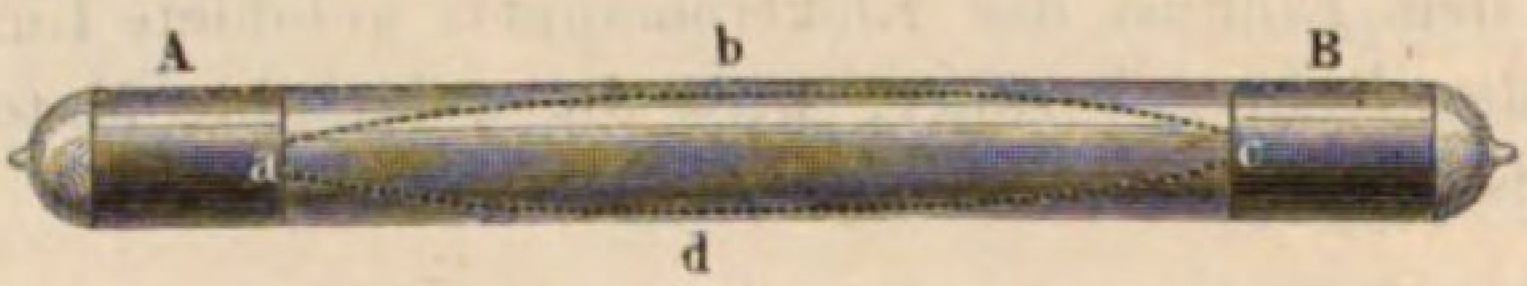
Dass hier in der That die Röhre von abwechselnd gerichteten Strömen durchflossen wird, ergiebt sich zunächst daraus, dass nun an beiden Elektroden das negative Glimmlicht auftritt, dann aber auch besonders deutlich dadurch, dass man den rothen Lichtstrom in den Röhren der Einwirkung eines kräftigen Elektromagnets aussetzt, denn der aus rasch auf einander folgenden, entgegengesetzt gerichteten Strömen zusammengesetzte rothe Lichtstreif wird dadurch in zwei getrennte Lichtstreifen zerlegt, welche durch den Einfluss des Magnets in verschiedener Weise abgelenkt werden.

Dieses Prüfungsmittel wandte nun Paalzow zur Untersuchung des Entladungsschlags der Leydener Batterie an (Poggend. Annal. CXII.). Als er in den Schliessungsbogen einer einzelnen Flasche oder einer ganzen Batterie, welche durch die Elektrisirmaschine geladen wurde, eine Geissler'sche Röhre einschaltete, zeigte sich, als derselbe der Einwirkung eines Elektromagnets ausgesetzt wurde, dass die durch dieselbe hindurchgehende Entladung in der That aus alternirend gerichteten Strömen bestand, wenn ausser der Röhre kein weiterer bedeutender Widerstand in den Schliessungsbogen der Flasche eingeschaltet war; durch die Einschaltung eines hinlänglich starken Widerstandes aber wurde die Entladung eine einfach gerichtete. Dadurch ist nun auch die Richtigkeit der Resultate

bestätigt, welche Feddersen aus den in §. 62 besprochenen Versuchen mit dem rotirenden Spiegel gezogen hat.

Gassiot versah eine evacuirte Glasröhre, in welche keine Platinelektroden eingeschmolzen waren, an jedem Ende mit einer Stanniolbelegung, wie es in Fig. 490 angedeutet ist.

Fig. 490.



Als jede dieser Belegungen mit einem der Pole des Funkeninductors verbunden und dieser in Thätigkeit gesetzt wurde, bildete sich ein Lichtstrom im Inneren der Röhre, welcher durch die Einwirkung des Elektromagnets in zwei zerlegt wurde. Als sich die Röhre in der bereits in §. 177 besprochenen Weise in äquatorialer Richtung zwischen den Polen des Elektromagnets befand, wurde der eine Strom nach oben gekrümmt, wie abc, der andere aber nach Unten, also nach der Richtung adc abgelenkt. Die Entstehung alternirender Ströme in der Röhre erklärt sich folgender Weise: In dem Augenblick, in welchem die eine Belegung, etwa A, durch den Oeffnungsstrom des Inductors mit positiver Elektricität geladen wird, wird die positive Elektricität im Inneren der Röhre von A nach B strömen; wenn aber gleich darauf die Belegung A durch den Schliessungsstrom des Inductors mit negativer Elektricität geladen wird, so muss ein positiver Strom im Inneren der Röhre von B nach A laufen.

Recurrirende Ströme treten auch in Geissler'schen Röhren auf, welche in der Mitte durch eine dünne Scheidewand von Glas getheilt sind. In äquatorialer Lage zwischen die Pole des Elektromagnets gebracht, zeigt ein solches Rohr in beiden Hälften einen doppelten Lichtstreifen, in dem der Lichtstrom z. B. von der einen Elektrode A, Fig. 491 sich nach unten senkt, bis zur Scheidewand fortgeht, wo er sich nach oben wendet,

Fig. 491.



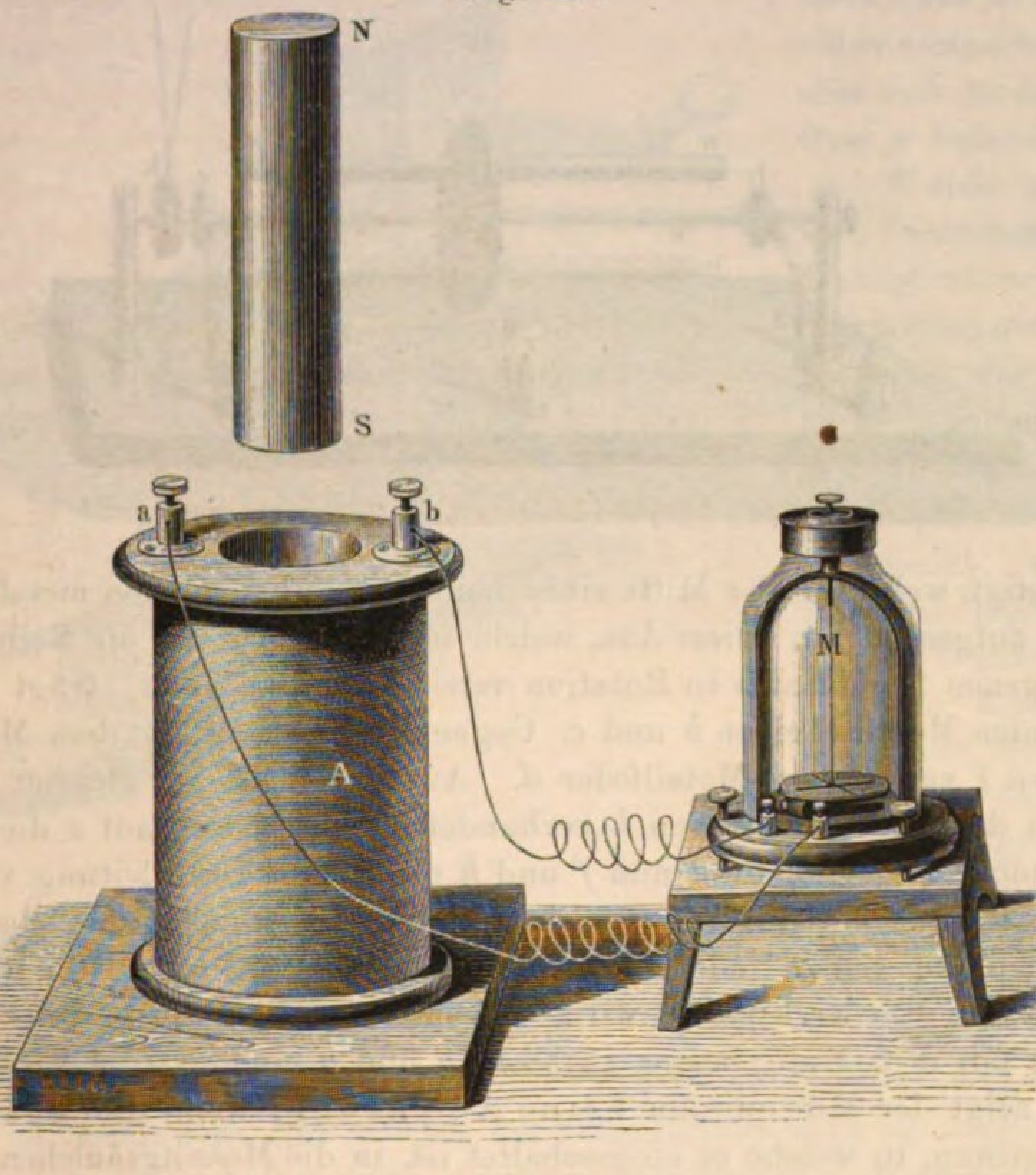
um auf der oberen Seite des Rohrs nach A zurückzukehren. In der anderen Hälfte des Rohrs nimmt der Strom die entgegengesetzte Richtung. Beide Pole zeigen das negative Glimmlicht.

179 **Induction elektrischer Ströme durch Magnete.** Bei einigen der in §. 165 besprochenen Versuche lässt sich die Spirale B, welche den Hauptstrom leitet, durch einen Stahlmagneten oder durch Elektromagneten ersetzen. Schiebt man z. B. in die Spirale A, Fig. 492, einen Magnetstab NS ein, während die Enden der Spirale durch einen Multiplicator verbunden sind, so zeigt die Ablenkung der Nadel einen Strom an, welcher den nach Ampère's Theorie die Moleküle des genäherten Mag-

nets umkreisenden Molekularströmchen entgegengesetzt ist. Bleibt der Magnet ruhig in der Spirale, so kehrt die Nadel nach einigen Schwingungen wieder zu ihrer ursprünglichen Gleichgewichtslage zurück, um einen abermaligen aber entgegengesetzten Ausschlag zu machen, wenn der Magnet wieder aus der Hülse herausgezogen wird.

Wir haben eben nur einen der einfachsten Fälle der Induction elektrischer Ströme durch Magnete betrachtet. Eine solche Induction findet aber überall statt, wo ein Magnet in der Nähe eines geschlossenen Leiters oder ein geschlossener Leiter in der Nähe eines Magnets bewegt wird. Was die Richtung der inducirten Ströme betrifft, so lässt sich dieselbe stets nach dem in §. 165 besprochenen Lenz'schen Gesetze ermitteln,

Fig. 492.



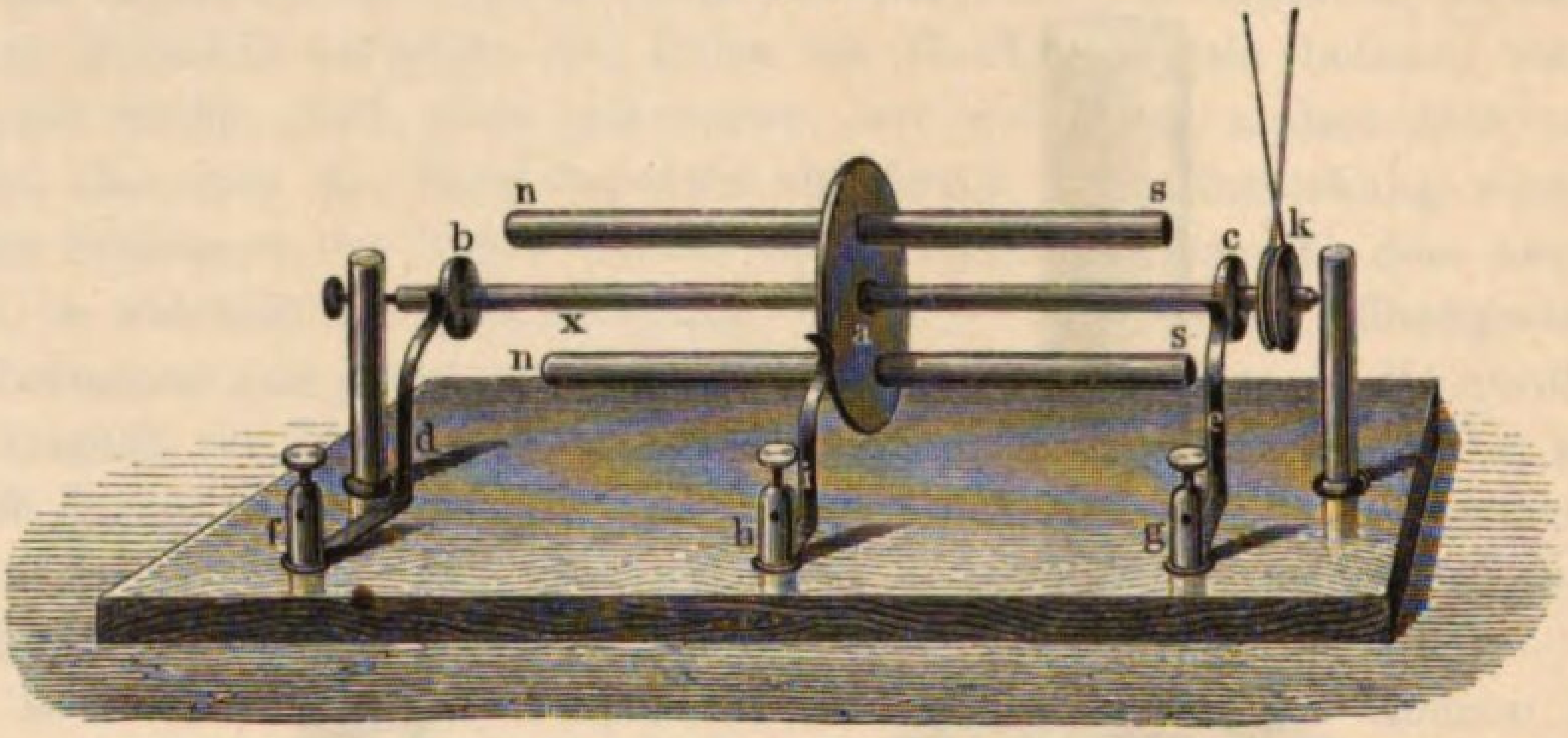
wenn man sich die Wirkung des Magnets nach der Ampère'schen Theorie auf elektrische Ströme zurückgeführt denkt.

In §. 151, 152 und 153 haben wir gesehen, wie durchströmte Leiter unter dem Einflusse von Magneten oder Magnete unter dem Einflusse durchströmter Leiter in continuirliche Rotation versetzt werden. Bringt man nun dieselbe Rotationsbewegung durch mechanische Mittel hervor, während in den Schliessungsbogen des Leiters statt des elektromotorischen Bechers ein Multiplicator eingeschaltet ist, so zeigt der Multiplicator

einen Strom an, welcher demjenigen entgegengesetzt gerichtet ist, welchen der elektromotorische Becher durch den Leiter gesendet hatte, oder mit anderen Worten, während ein den Leiter durchfliessender Strom eine Rotation erzeugt, so bringt umgekehrt die mechanisch bewirkte Rotation einen entgegengesetzt gerichteten Inductionsstrom im Leiter hervor.

Um diese Umkehrung durch den Versuch nachzuweisen, sind die Rotationsapparate Fig. 414, 418, 419 und 420 wenig geeignet. Plücker und Fessel haben aber zu diesem Zwecke mehrere Apparate construirt, von welchen wir nur einen näher betrachten wollen, nämlich den Apparat Fig. 493, welcher zur Umkehrung des Rotationsversuchs Fig. 418 dient. Zwei Magnetstäbe *n s* sind parallel mit einander in einer kupfernen Scheibe

Fig. 493.



a befestigt, welche in der Mitte einer den Magneten parallelen metallischen Axe *x* aufgesetzt ist. Diese Axe, welche mittelst eines um die Rolle *k* geschlungenen Schnurlaufs in Rotation versetzt werden kann, trägt ferner die beiden Metallscheiben *b* und *c*. Gegen *b* drückt die mit dem Messingsäulchen *f* verbundene Metallfeder *d*. Auf *a* schleift in gleicher Weise die mit dem Messingsäulchen *h* verbundene Feder *i* und auf *c* die mit *g* verbundene Feder *e*. Sind nun *f* und *h* durch eine Drahtleitung verbunden, in welcher ein Multiplicator eingeschaltet ist, so zeigt derselbe durch die Ablenkung seiner Nadel einen Inductionsstrom an, sobald die Rotation um die Axe *x* bewerkstelligt wird. Dasselbe findet statt, wenn die Drahtleitung mit dem Multiplicator zwischen *h* und *g* eingeschaltet wird. Dagegen zeigt der Multiplicator keine Ablenkung, wenn die Enden der Drahtleitung, in welche er eingeschaltet ist, in die Messingsäulchen *f* und *g* eingeschraubt sind, wie dies nach den Bemerkungen in §. 151 wohl vorauszusehen war.

Auch durch die Umkehrung des Rotationsversuchs Fig. 419 wird eine Strominduction erzeugt. Der Apparat, welchen Weber anwendet, um durch einen um seine Axe rotirenden Magneten eine Induction hervorzubringen, welche er mit dem Namen der unipolaren Induction bezeichnet, ist Fig 494 dargestellt. Ein cylindrischer Stahlmagnet *m* war an beiden Enden mit Spitzen versehen, welche in kleine Vertiefungen der

eisernen Klammern *a* und *b* eingesetzt waren, wie man dies Fig. 495 deutlicher sieht. Diese Klammern waren auf das Brett aufgeschraubt, welches den ganzen Apparat trug. — In diese Klammern konnte man zwei grosse Magnete mit denjenigen Enden einschieben, welche den entgegenstehenden Polen des Magnets *m* entgegengesetzt waren, und dadurch den Magnetismus des Stahlcylinders *m* bedeutend erhöhten.

Die Umdrehung des Magnets *m* um seine Axe wurde durch ein Getriebe bewerkstelligt, dessen Einrichtung sich aus der Fig. 494 ergiebt. Bei jeder Umdrehung der Kurbel machte der Stahlcylinder $8^4/_7$ Umdrehungen.

Ungefähr auf der Mitte des Stahlcylinders *m* war eine Messingscheibe *s* befestigt, deren unteres Ende in Quecksilber eintauchte, welches sich in dem Gefässe *g* befand.

Fig. 494.

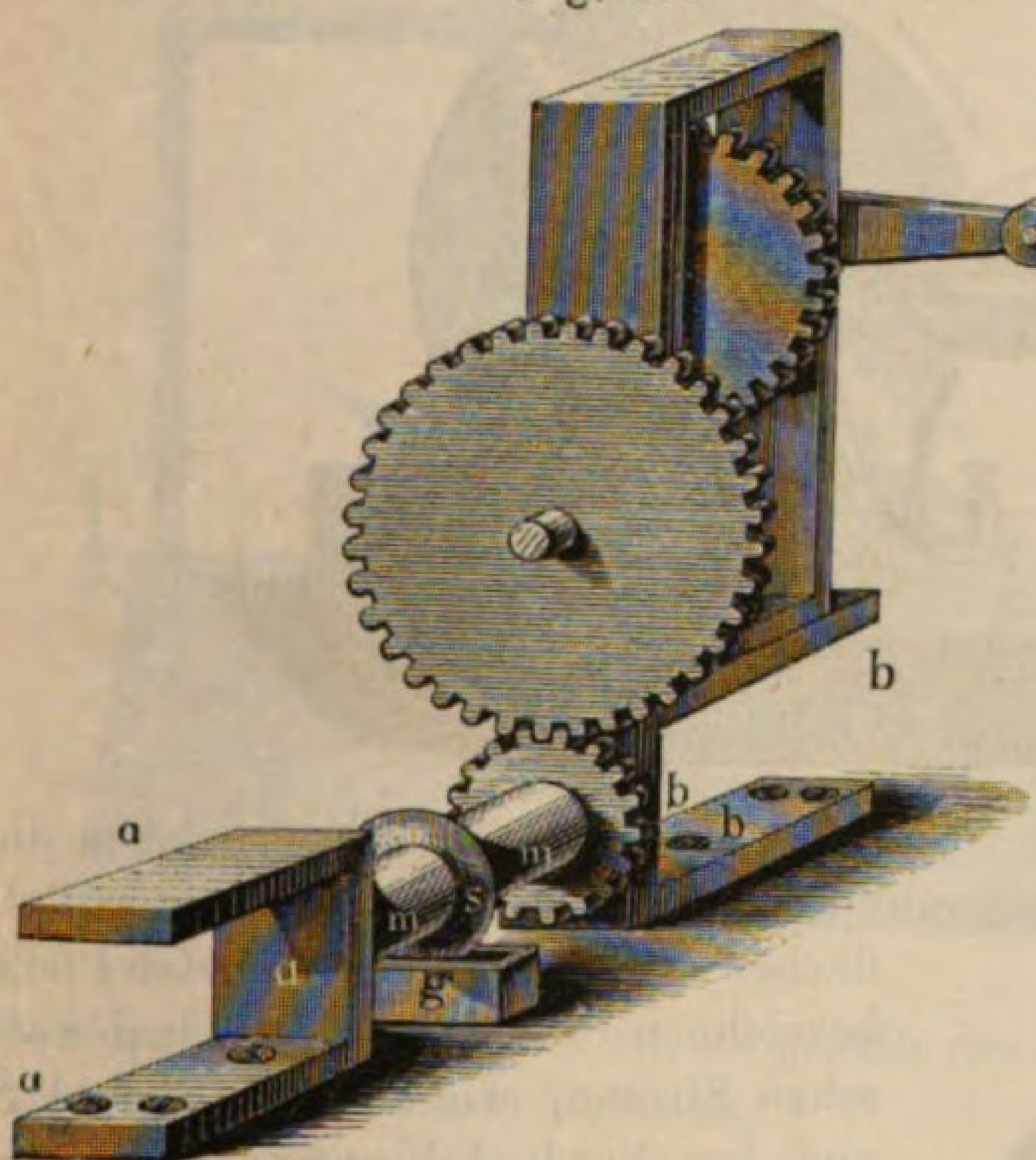
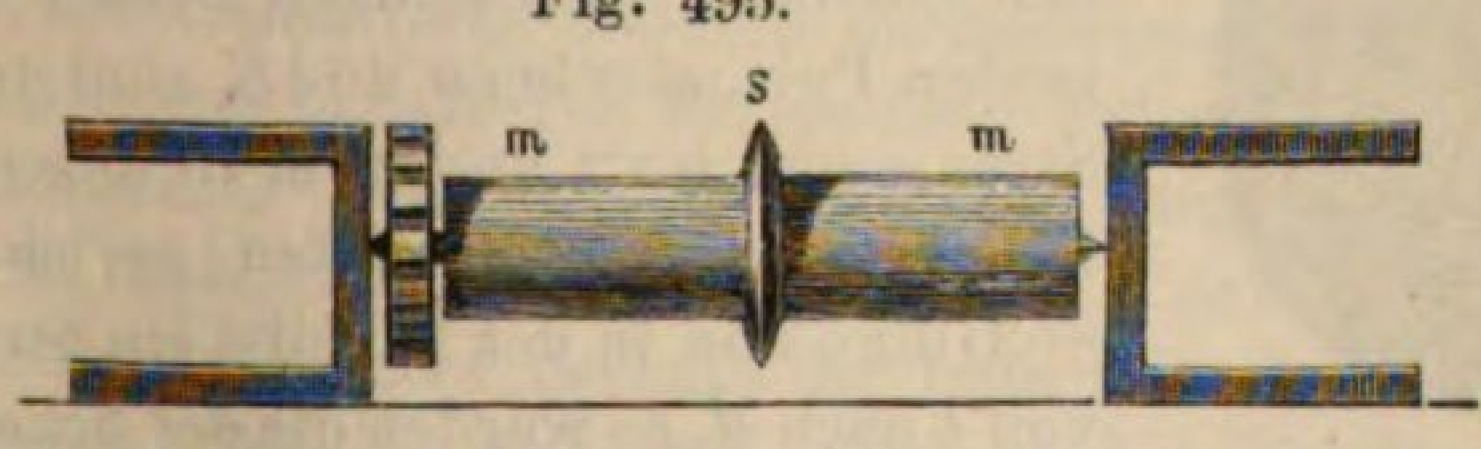


Fig. 495.



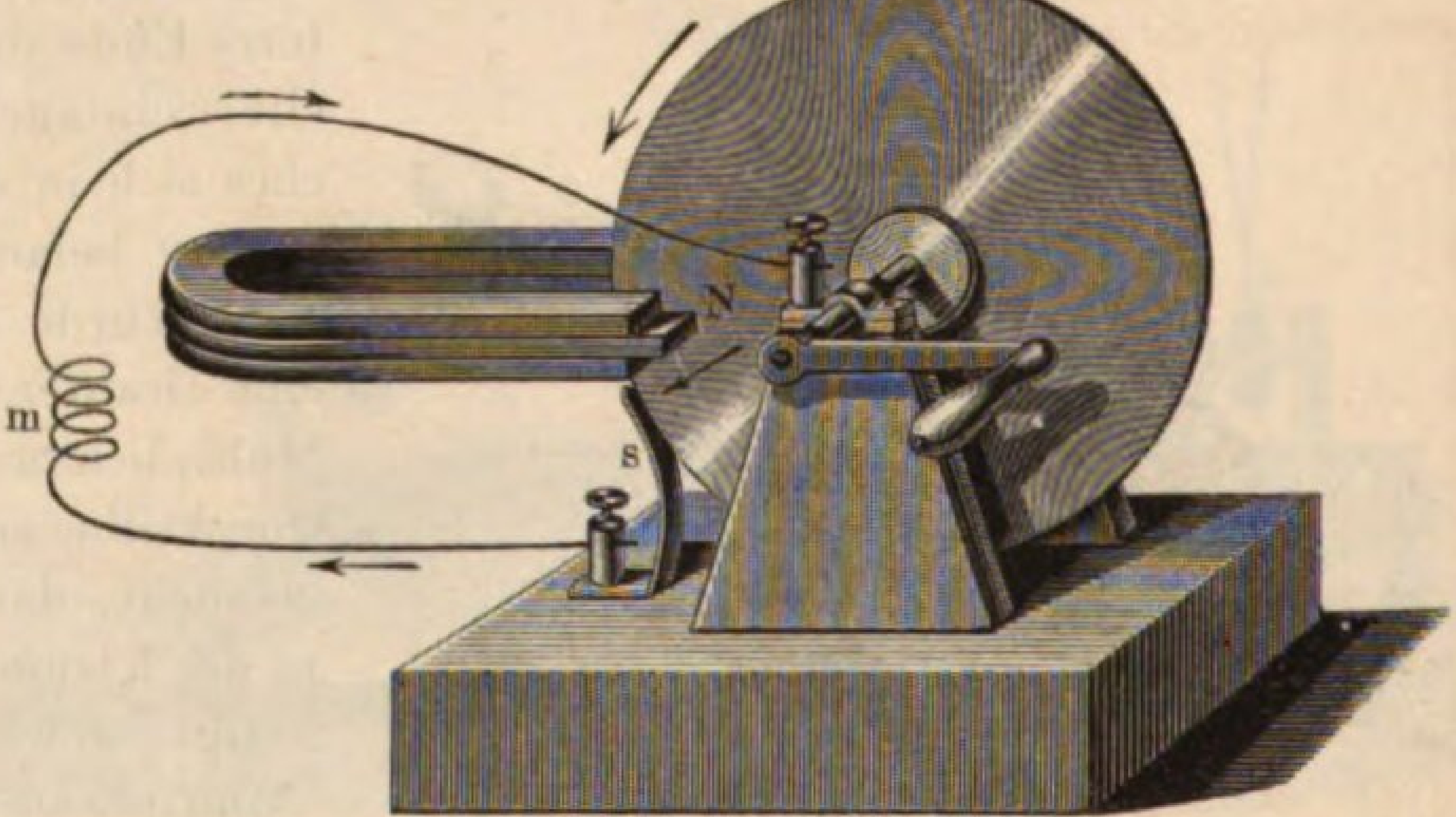
Wurde nun das eine Drahtende eines Multiplicators in das Quecksilbergefäss *g* getaucht, das andere an der Klammer *b* befestigt, so wurde die Multiplicatornadel abgelenkt, sobald man die Kurbel zu drehen begann.

Als Multiplicator wurde ein transportables Magnetometer angewendet, um dessen Magnetstab der Multiplicatordraht in 2000 Windungen herumgeführt war. Um die Kraft zu vermindern, mit welcher der Magnetometerstab im magnetischen Meridian zurückgehalten wird, wurde ein 25pfündiger Magnetstab etwa 2 Meter südlich vom Magnetometer so aufgestellt, dass er sein Südende nach Norden kehrte; dadurch wurde natürlich die Empfindlichkeit des strommessenden Apparates sehr erhöht.

Dass in einer Kupferscheibe, welche in der Nähe eines Magnets oder zwischen zwei Magnetpolen rotirt, ebenfalls Ströme inducirt werden, hat Faraday auf folgende Weise durch den Versuch nachgewiesen: Eine kupferne Scheibe, welche um eine horizontale Axe drehbar ist, wurde so

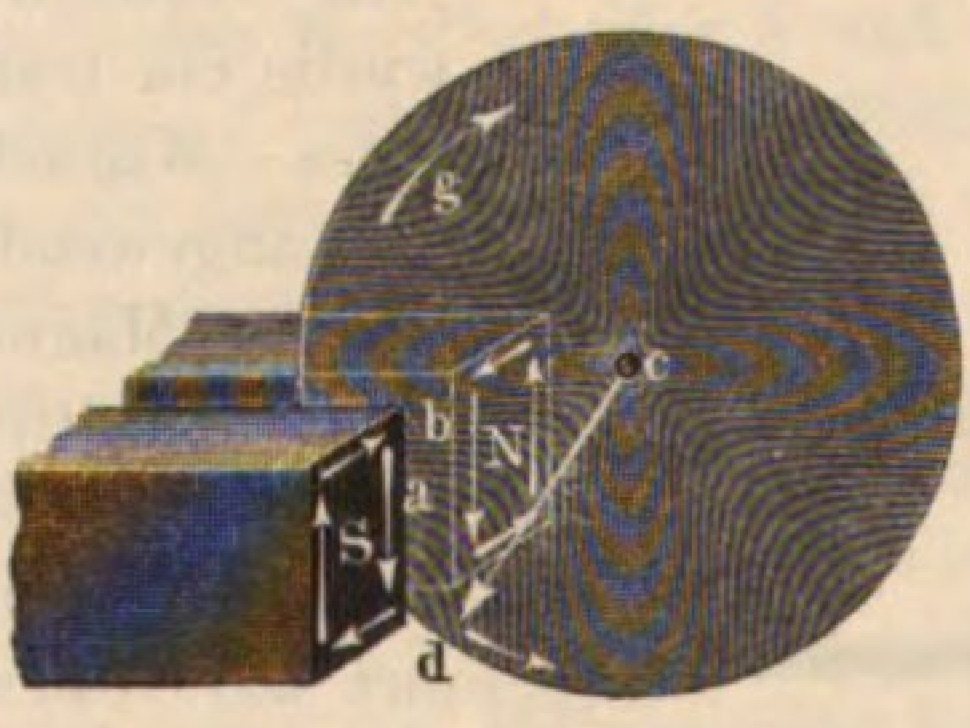
zwischen die beiden Pole eines Hufeisenmagnets gebracht, wie Fig. 496 andeutet; wenn man die Metallfeder *s*, welche in der Nähe der Magnetpole gegen den amalgamirten Rand der Kupferscheibe drückt, mit der metallenen Axe der Scheibe durch eine Drahtleitung verbindet und in dieselbe einen Multiplicator einschaltet, wie dies in unserer Figur bei *m* schematisch angedeutet ist, so weicht die Nadel des Multiplicators aus, sobald die Scheibe rotirt, und zwar hängt die Richtung der Ablenkung von der Richtung der Rotation ab; einmal nämlich zeigt die Nadel einen Strom an, welcher von der Mitte der Scheibe zum Rande geht, bei entgegengesetzter Drehungsrichtung einen Strom vom Rande nach der Mitte.

Fig. 496.



Es seien *S* und *N*, Fig. 497, die Magnetpole, zwischen welchen die Kupferscheibe um ihren Mittelpunkt *c* rotirt. Die kleinen, auf den Polflächen *S* und *N* aufgezeichneten Pfeile bezeichnen die Richtung der Ampère'schen Ströme, wie sie dem Südpol *S* und dem Nordpol *N* entsprechen. An den einander zugekehrten Seiten der beiden Pole, also bei *a* und *b*, sind diese Ströme gleich = und zwar in unserem Falle von oben nach unten gerichtet. — Ginge nun in der Scheibe ein Strom von *c* nach *d*, so würden die der Scheibe zunächst liegenden Theile der Ampère'schen Ströme, also die Stromstücke bei *a* und *b*, ein Bestreben ausüben, das Stromstück *cd* sich parallel und gleichgerichtet zu stellen, und wenn das Stromstück *cd* sammt der ganzen Kupferscheibe um *c* drehbar ist, so wird dieselbe durch die Einwirkung der Stromstücke bei *a* und *b* auf *cd* in der Richtung des kleinen Pfeils bei *d* gedreht werden. Man muss also die Scheibe in der entgegengesetzten Richtung, d. h. in der Richtung des Pfeils bei *g* mechanisch drehen, wenn durch die Magnetpole *N* und *S* ein Strom in der Richtung von *c* nach *d* inducirt werden soll.

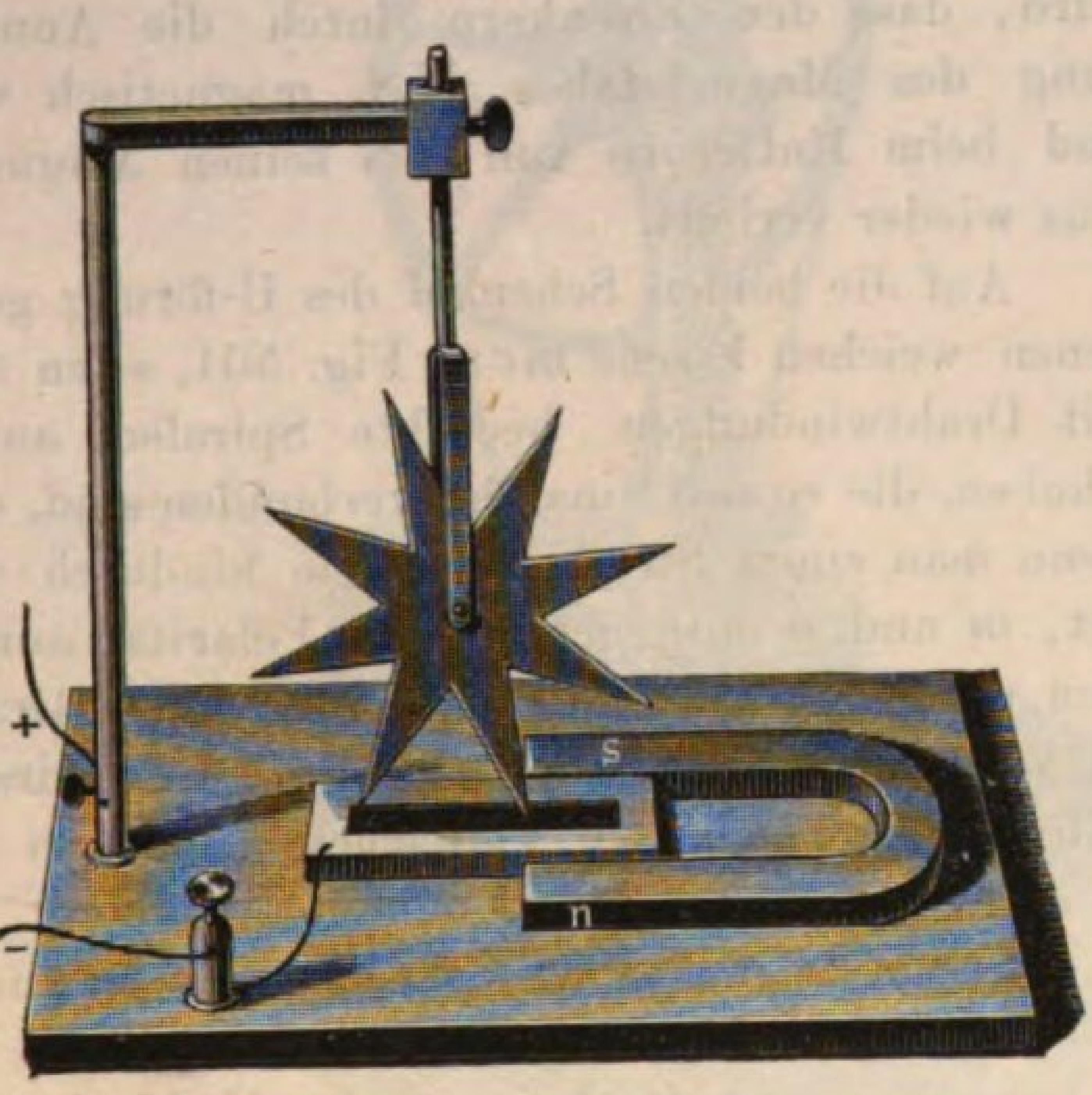
Fig 497.



Wenn auf die mechanisch gedrehte Scheibe nicht die beiden Magnetpole S und N, sondern nur einer derselben einwirkte, so würde die Erscheinung bis auf die Intensität der Wirkung ganz die gleiche gewesen sein.

Die eben besprochene Induction von Strömen in einer mechanisch zwischen den Polen eines Hufeisenmagnets gedrehten Metallscheibe ist gleichfalls die Umkehrung einer elektrodynamischen Rotationserscheinung, deren Besprechung hier nachgetragen werden mag, da sie in §. 151 vergessen wurde. Der Apparat, Fig. 498, mit welchem diese Rotationserscheinung hervorgebracht werden kann, ist unter dem Namen des Barlow'schen Rades bekannt. Zwischen den Polen eines kräftigen Hufeisenmagnets befindet sich eine Quecksilberrinne, in welche eine der Spitzen eines sternförmigen, metallischen, um seinen Mittelpunkt drehbaren Rades eintaucht. Wird nun die metallische Axe des Rades mit dem einen, die Quecksilberrinne mit dem anderen Pol einer galvanischen Säule in Verbindung gebracht, so geräth das Rad in eine den besprochenen Gesetzen entsprechende Rotation.

Fig. 498.



In dem oben durch Fig. 496 erläuterten Inductionsversuch waren die Inductionsströme dadurch nachgewiesen worden, dass ausserhalb der Scheibe eine metallische Verbindung zwischen ihrer Axe und einem Punkt ihres Randes durch eine Drahtleitung hergestellt worden war, in welcher der Multiplicator eingeschaltet wurde. Wenn aber auch diese Drahtleitung ganz fehlt, so hört deshalb die Induction der Ströme in der mechanisch gedrehten Scheibe nicht auf, nur werden dieselben, da sie nicht durch eine Drahtleitung aus der Scheibe abgeleitet werden, innerhalb derselben ihren Weg vollenden müssen; die Scheibe wird von Strömen durchlaufen, ungefähr wie es Fig. 499 zeigt.

Fig. 499.



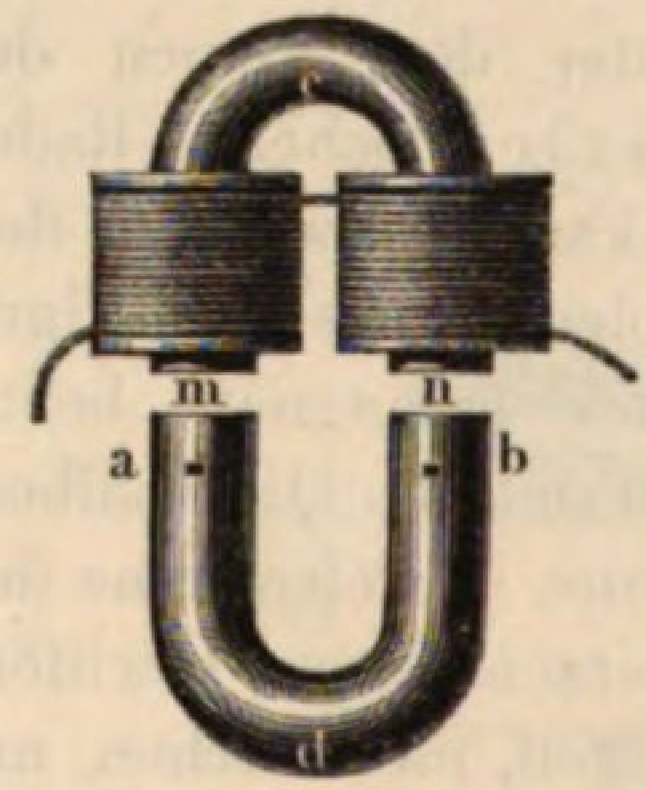
Fig. 500.



Fig. 500 zeigt den ungefähren Verlauf der Ströme, welche in einer um ihren Mittelpunkt rotirenden Scheibe inducirt werden, wenn die beiden Pole des inducirenden Magnets den Punkten a und b gegenüberstehen.

180 **Magneto-elektrische Inductionsapparate.** Wenn man bei dem durch Fig. 492 erläuterten Versuch den Magnetstab nicht in die Höhlung der Spirale hineinschiebt, sondern nur sein unteres Ende dem oberen Ende der Spirale nähert und dann wieder entfernt, so wird die Intensität der inducirten Ströme nur eine geringe sein. Wenn aber die innere Höhlung der Spirale mit einem Stab von weichem Eisen ausgefüllt ist, so wird durch die Annäherung oder Entfernung des Magnetstabes *NS* ein stärkerer Strom in die Spirale inducirt, weil ausser der directen Inductionswirkung des genäherten Magnets nun auch noch eine weitere gleichgerichtete Induction dadurch vermittelt wird, dass der Eisenkern durch die Annäherung des Magnetstabes *NS* magnetisch wird und beim Entfernen von *NS* seinen Magnetismus wieder verliert.

Fig. 501.



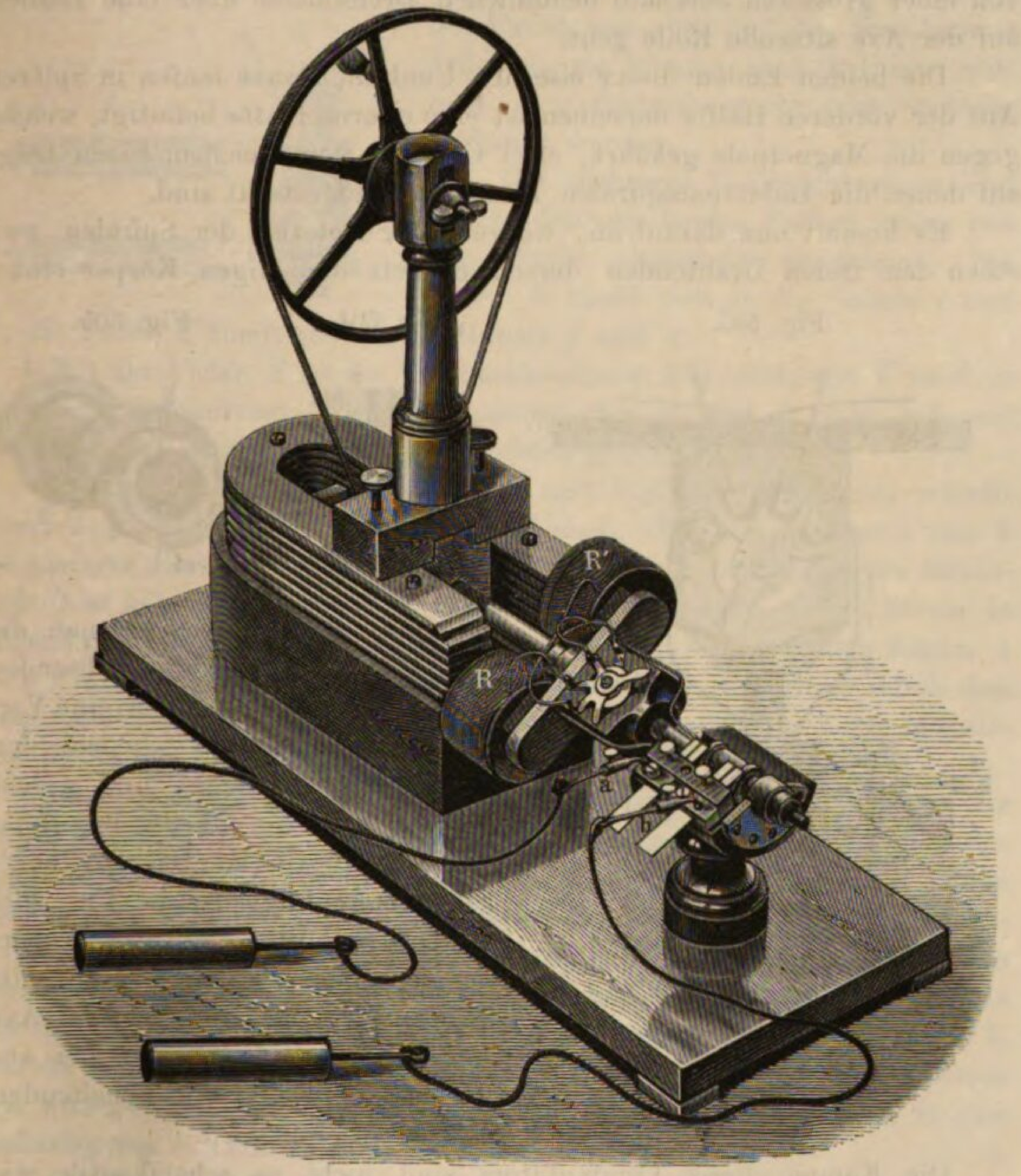
Auf die beiden Schenkel des U-förmig gebogenen weichen Eisens *mcn*, Fig. 501, seien zwei mit Drahtwindungen bedeckte Spiralen aufgeschoben, die so mit einander verbunden sind, dass wenn man einen Strom durch sie hindurch sendet, *m* und *n* entgegengesetzte Polarität annehmen würden. Wenn nun die beiden freien Drahtenden der Spirale leitend verbunden sind, so wird in diesen Spiralen jedesmal ein Strom inducirt, wenn man den Polflächen *m* und *n* des weichen Eisens die Pole *a* und *b* eines Hufeisenmagnets nähert, ein entgegengesetzt gerichteter Strom aber, wenn man die Pole *a* und *b* wieder entfernt.

Die abwechselnde Annäherung und Entfernung der Endflächen *m* und *n* des U-förmigen Eisens *mcn* gegen die Magnetpole *a* und *b* kann aber auch dadurch bewirkt werden, dass man das Eisen *mcn* sammt den auf seinen Schenkeln sitzenden Spiralen um eine Axe rotiren lässt, deren Richtung mit der Linie *cd* zusammenfällt, so dass die Endfläche *m*, welche sich eben über dem Pol *a* befindet, nach einer halben Umdrehung über *b*, *n* aber über *a* zu stehen kommt. Der Strom, welcher bei einer solchen Rotation in den Spiralen inducirt wird, dauert mit veränderlicher Stärke, aber mit unveränderlicher Richtung während einer halben Umdrehung fort, nämlich während *m* von *a* bis *b* und *n* von *b* bis *a* gedreht wird; sobald aber die zweite halbe Umdrehung beginnt, ändert sich die Richtung des Stromes, um nach Vollendung einer ganzen Umdrehung abermals zu wechseln; wenn also das weiche Eisen mit seinen Drahtwindungen rasch rotirt, so werden diese Windungen beständig von alternirenden Strömen durchlaufen, deren Richtung jedesmal wechselt, wenn die Pole des weichen Eisens über den Polen des Magnets stehen. Dass die Richtung der Ströme wirklich in der eben angegebenen Weise wechselt, ergiebt sich leicht aus den über die Richtung der inducirten Ströme gegebenen Regeln, denn da *a* und *b* entgegengesetzte Pole sind, so muss

das Entfernen von a einen Strom in derselben Richtung induciren, wie ein Annähern gegen den Pol b.

Um auf bequeme Weise mit den durch Magnete inducirten Strömen Versuche anstellen zu können, hat man nach dem eben angedeuteten Princípe besondere Maschinen construirt, welche den Namen der **magneto-**

Fig. 502.



elektrischen Rotationsmaschinen oder der **Magnet-Elektrisirmaschinen** führen. Die erste Maschine der Art construirte **Pixii** im Jahre 1832; bei dieser rotirte der Magnet und nicht das weiche Eisen mit den Inductionsspiralen. Später erfuhr dieser Apparat bedeutende Veränderungen und Verbesserungen, namentlich durch **Saxton**, **Clarke**, **Ettingshausen**, **Petrina** und **Stöhrer**. Bei allen den später construirten Maschinen sind die Magnete fest und die Inductionsspiralen beweglich. Fig. 502

stellt eine Stöhrer'sche Magneto-Inductionsmaschine von mittlerer Grösse dar.

Der aus mehreren Lamellen zusammengesetzte Hufeisenmagnet liegt wagerecht. In der Mitte zwischen den beiden Schenkeln desselben ist die Rotationsaxe angebracht, um welche sich die Inductionsspiralen drehen. Die Umdrehung dieser Axe wird durch einen Schnurlauf bewirkt, welcher von einer grösseren oberhalb befindlichen Drehscheibe über eine kleinere auf der Axe sitzende Rolle geht.

Die beiden Enden dieser eisernen Umdrehungsaxe laufen in Spitzen. Auf der vorderen Hälfte derselben ist eine eiserne Platte befestigt, welche, gegen die Magnetpole gekehrt, zwei Cylinder von weichem Eisen trägt, auf denen die Inductionsspiralen R und R' aufgesteckt sind.

Es kommt nun darauf an, während der Rotation der Spiralen zwischen den freien Drahtenden derselben stets denjenigen Körper einzu-

Fig. 503.

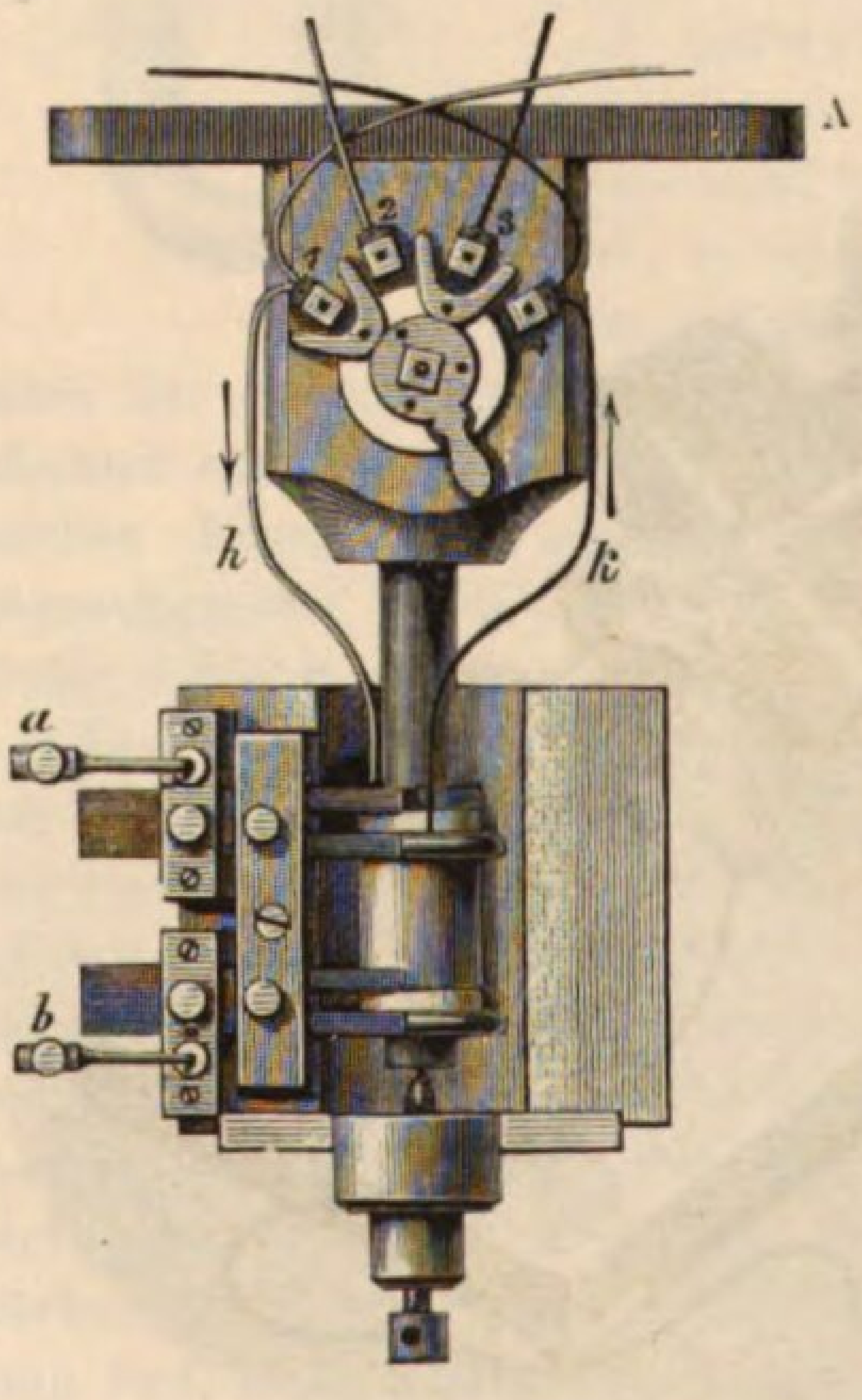


Fig. 504.

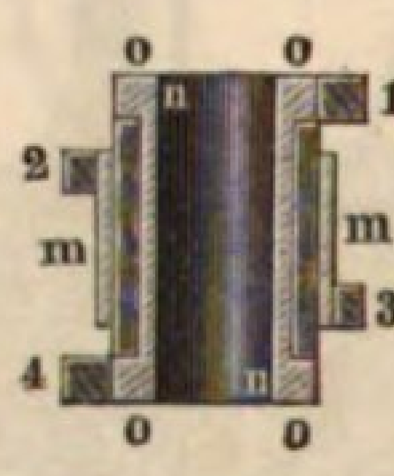
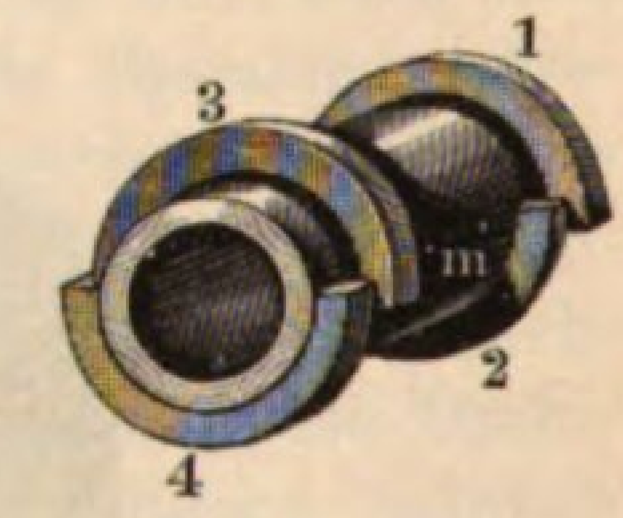


Fig. 505.



schalten, durch welchen man die Inductionsströme hindurchsenden will; dies wird nun durch eine Vorrichtung vermittelt, welche man den Commutator nennt und welche an dem vorderen Theile der Rotationsaxe befestigt ist. Der Stöhrer'sche Commutator ist in Fig. 504 im Durchschnitt, Fig. 505 in perspectivischer Ansicht dargestellt; Fig. 503 zeigt, wie er auf der Axe befestigt ist und wie von ihm aus der Strom in den einzuschaltenden Körper geleitet wird.

Die Kämme dieses Commutators sind nicht so scharfkantig wie Fig. 505, sondern abgerundet, wie Fig. 503 und 506 zeigt.

An den beiden Enden des Messingrohres m sind zwei Stahlkämme 2 und 3 so aufgelöthet, dass sie sich genau gegenüberliegen und die Enden derselben sich etwas überragen. Innerhalb des Rohres m, von demselben durch ein dünnes Buchsbaumrohr getrennt, befindet sich ein zweites Messingrohr n, welches an beiden Seiten über m vorragt. Die Vorsprünge tragen zwei mit dem Rohre n aus einem Stück gedrehte Ringe o von gleichem Durchmesser mit der Höhlung des Rohres m; auf diese

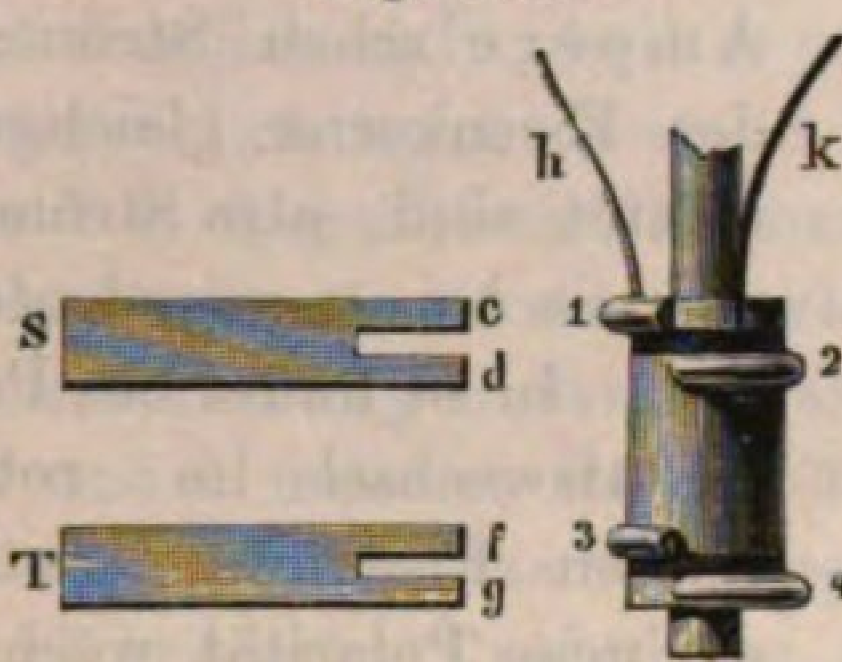
Ringe sind die Stahlkämme 1 und 4 den Stahlkämmen 3 und 2 correspondirend aufgelöthet, wie man dies am deutlichsten in Fig. 505 sieht.

Dieses ganze System ist auf der Umdrehungsaxe befestigt.

Das eine Drahtende *k*, Fig. 503, der Spiralen führt zum Kamm 2, das andere Drahtende *h* führt zum Kamm 1.

Zwei flache dünne Stahlfedern sind an dem Gestelle der Maschine so angebracht, dass ihre vorderen geschlitzten Enden von oben auf die Stahlkämme drücken; sie können nach Belieben mittelst einer Schraube mehr oder weniger gespannt werden.

Fig. 506.



Der leichteren Uebersicht wegen sind in Fig. 506 die beiden Federn etwas von der Walze abgerückt gezeichnet. Die Feder *S* theilt sich in die Gabeln *c* und *d*; die Feder *T* theilt sich in die Gabeln *f* und *g*.

Mit der Feder *S* ist die Klemmschraube *a*, Fig. 503, mit *T* ist *b* in leitender Verbindung. Die Klemmschrauben *a* und *b* seien nun auf irgend eine Weise in leitende Verbindung gebracht.

In der Stellung, welche Fig. 503 und Fig. 506 entspricht, schleift *d* auf 2, *g* auf 4, während *c* und *f* frei sind. Wenn nun aber 1 von *h* die positive Elektricität aufnimmt, während 2 mit dem negativen Drahtende *k* in leitender Verbindung steht, so circulirt der positive Strom in folgender Weise durch den Apparat: von *h* geht er durch den Kamm 1 nach 4 und über die Gabel *g* zur Klemmschraube *b*, von dieser durch den eingeschalteten Leiter nach *a*, um über *d* und den Kamm 2 zum negativen Drahtende *k* der Spiralen zu gelangen.

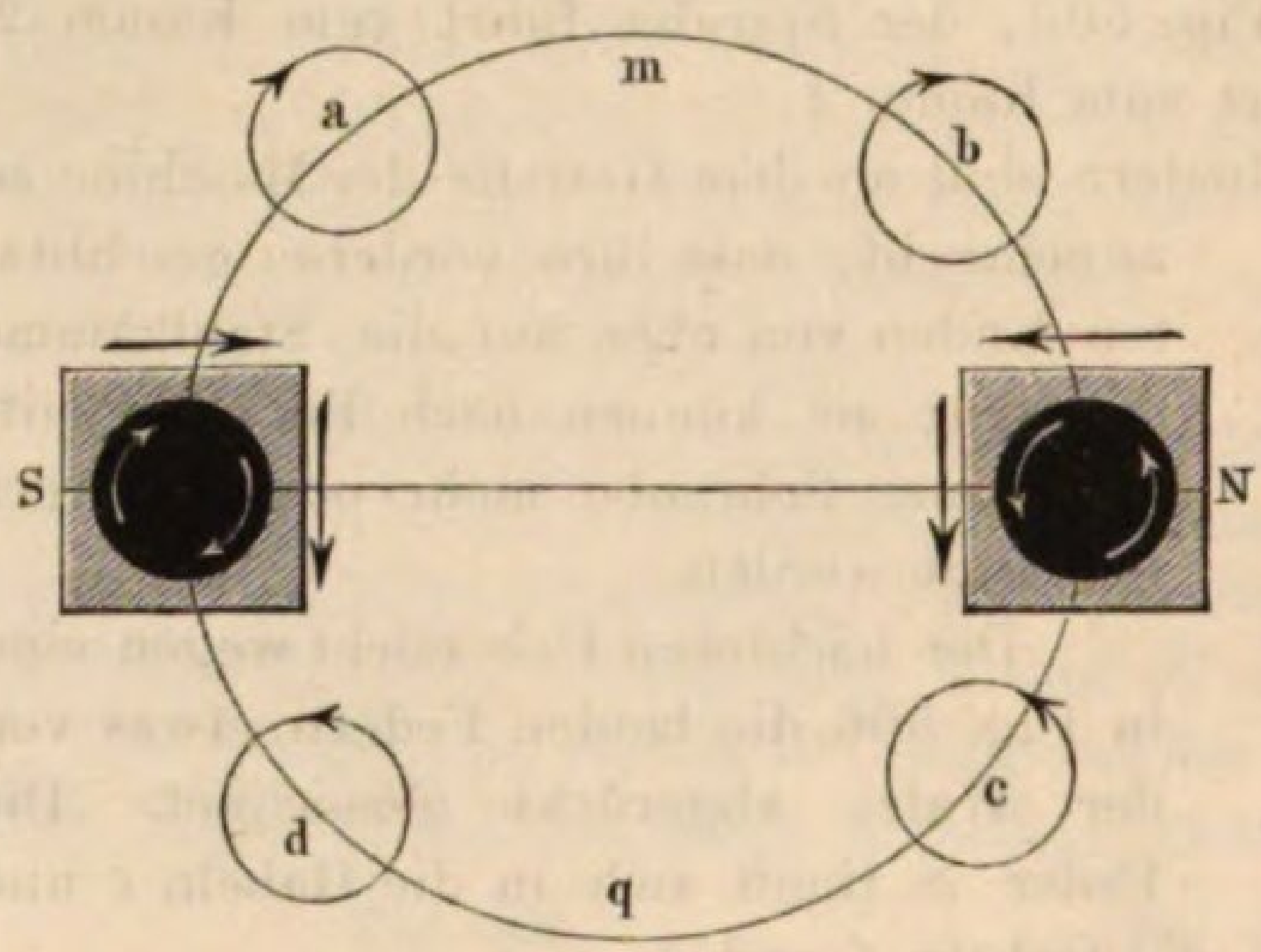
Dreht sich nun die Axe für einen vorn stehenden Beschauer wie der Zeiger einer Uhr, so wird alsbald der Kamm 2 die Gabel *d* und der Kamm 4 die Gabel *g* verlassen, während *c* auf 1 und *f* auf 3 zu liegen kommt; der Commutator ist nun so gestellt, dass dieser Wechsel gleichzeitig mit dem Wechsel der Stromrichtung in den Spiralen stattfindet, so dass also in diesem Moment *k* das positive und *h* das negative Drahtende der Spiralen wird; es geht also der positive Strom jetzt von *k* auf 2 und 3, von da durch *f* nach *b* u. s. w.; es wird also auch jetzt der positive Strom den zwischen den Klemmschrauben eingeschalteten Körper noch in der Richtung von *b* nach *a* durchlaufen.

Durch den Stöhrer'schen Commutator wird also bewirkt, dass der Inductionsstrom durch den zwischen *a* und *b* eingeschalteten Körper stets in gleicher Richtung hindurchgeht, obgleich die Stromrichtung in den Spiralen mit jeder halben Umdrehung sich ändert.

Wenn einer der rotirenden Eisenkerne sich eben vom Südpol *S*, Fig. 507 (a. f. S.), des Stahlmagnets zu entfernen beginnt, so werden die Ampère'schen Ströme den Eisenkern in der durch die Pfeilchen angedeuteten Richtung, also wie der Zeiger einer Uhr, umkreisen. Die dadurch

hervorgebrachte Polarität des Eisenkerns nimmt allmälig ab, während derselbe sich von S bis m bewegt, und dieser verschwindende Magnetismus des Eisenkerns ruft in den ihn umgebenden Drahtwindungen Inductionsströme hervor, welche mit den verschwindenden Ampère'schen Strömen des Eisenkerns gleichgerichtet sind, also Ströme, wie sie bei a angedeutet sind. In m findet ein Polaritätswechsel im rotirenden Eisenkern statt; die neue Polarität wächst auf dem Wege von m bis N; dieser wachsende Magnetismus erzeugt aber in der Spirale Inductionsströme, welche den zunehmenden Ampère'schen Strömen des Eisenkerns entgegengesetzt sind, und also dieselbe Richtung haben, wie diejenigen, welche auf dem Wege von S bis m inducirt werden. Während der Rotation von S über m bis N bleibt also die Richtung der inducirten Ströme dieselbe, sie ist aber die entgegengesetzte auf dem Wege von N über q nach S.

Fig. 507.



Da nun die Polarität in den Eisenkernen allmälig ab- und zunimmt, so ist klar, dass sich auch die in den Spiralen inducirten Ströme nicht so momentan bilden, dass sie langsamer verlaufen, als die durch eine plötzliche Unterbrechung eines galvanischen Stromes inducirten. Diese Ströme, welche während der Rotation der Spiralen beständig, wenngleich mit veränderlicher Stärke den zwischen den Klemmschrauben a und b, Fig. 503, eingeschalteten Körper durchlaufen, sind also wenig geeignet, kräftige physiologische Wirkungen hervorzubringen; dagegen bringen sie alle anderen Effecte der gewöhnlichen galvanischen Ströme hervor.

Schraubt man in die Klemmschrauben a und b die Drahtenden eines Elektromagnets ein, so wird dieser durch die Inductionsströme erregt; die Nadel einer zwischen a und b eingeschalteten Tangentenbussole zeigt, da die Ströme stets in gleicher Richtung dieselbe durchlaufen, bei einigermaassen schneller Drehung eine constante Ablenkung. In einem zwischen a und b eingeschalteten Voltameter findet Wasserzersetzung statt und zwar wird das Sauerstoffgas stets an der einen, das Wasserstoffgas stets an der anderen Elektrode ausgeschieden. Der Strom einer magneto-elektrischen Rotationsmaschine kann, wenn derselbe kräftig genug ist, einen dünnen Metalldraht glühend machen u. s. w.

Will man mit dem Rotationsapparate physiologische Schläge hervorbringen, so muss für eine momentane Unterbrechung des Stromes gesorgt sein. Dies geschieht beim Stöhrer'schen Commutator dadurch,

dass die Kämme ein wenig über einander greifen, wie dies in Fig. 505 etwas übertrieben gezeichnet ist. Dadurch wird bewirkt, dass bei jeder halben Umdrehung einmal auf ganz kurze Zeit alle vier Kämme des Commutators an den Federn schleifen, so dass die Spiralen direct durch die Federn geschlossen sind und kein Strom durch den Schliessungsbogen geht, welcher zwischen den Klemmschrauben *a* und *b*, Fig. 503, eingeschaltet ist. Dieser also im Apparate selbst zurückkehrende Strom ist ziemlich stark, weil er ausser dem Leitungswiderstande in den Spiralen keinen Leitungswiderstand im Schliessungsbogen zu überwinden hat, und in dem Augenblicke, wo nun zwei Kämme ihre Federn verlassen, wo also dieser directe Strom unterbrochen wird, entsteht in Folge dieser Stromunterbrechung in den Spiralen ein Extrastrom, welcher in dem zwischen *a* und *b* mittelst Handgriffen eingeschalteten menschlichen Körper einen heftigen Schlag hervorbringt. Diesen Schlag erhält also der Körper zweimal bei jeder Umdrehung der Rotationsaxe.

Die Unterbrechung des im Apparate selbst zurückkehrenden Stromes giebt sich auch durch einen kräftigen an der Unterbrechungsstelle auftretenden Funken zu erkennen.

Der Commutator ist so gestellt, dass zwei Kämme immer in demselben Momente die Federn verlassen, in welchem die Eisenkerne gleichsam von den Polen des Elektromagnets abreissen.

Die Einrichtung der Spiralen ist verschieden, je nachdem man verschiedene Wirkungen damit hervorbringen will. Ist im Schliessungsbogen ein grosser Leitungswiderstand zu überwinden, so müssen die Spiralen aus vielen Windungen eines dünnen Drahtes gebildet sein; dies ist z. B. der Fall bei Inductoren, welche dienen sollen, um starke physiologische Effecte zu geben. Mit solchen dünndrahtigen Inductoren bringt man aber einen dünnen Metalldraht, welcher in dem Schliessungsbogen eingeschaltet ist, nicht ins Glühen; dazu ist ein Strom von grösserer Quantität nöthig, wie er erhalten wird, wenn die Spirale aus wenigen Windungen eines dickeren Drahtes gebildet ist.

Je nachdem ein Inductor aus dünnem oder dickem Draht gebildet ist, nennt man ihn einen Intensitätsinductor oder einen Quantitätsinductor.

Bei manchen Maschinen ist die Einrichtung getroffen, dass man nach Belieben einen Quantitäts- oder einen Intensitätsinductor einsetzen kann. Denselben Zweck, welchen man durch Vertauschung der Inductoren erreicht, kann man auch durch eine Vorrichtung erreichen, welche erlaubt, die beiden Spiralen auf verschiedene Weise zu combiniren. Eine solche Vorrichtung führt den Namen Pachytrop. Betrachten wir denselben etwas näher.

Jede der beiden rotirenden Spiralen bildet für sich einen Elektromotor, man kann also die beiden Spiralen in gleicher Weise wie zwei Volta'sche Becher gleichsam hinter einander zu einer Säule von zwei Elementen, oder neben einander zu einem einzigen Elemente vereinigen,

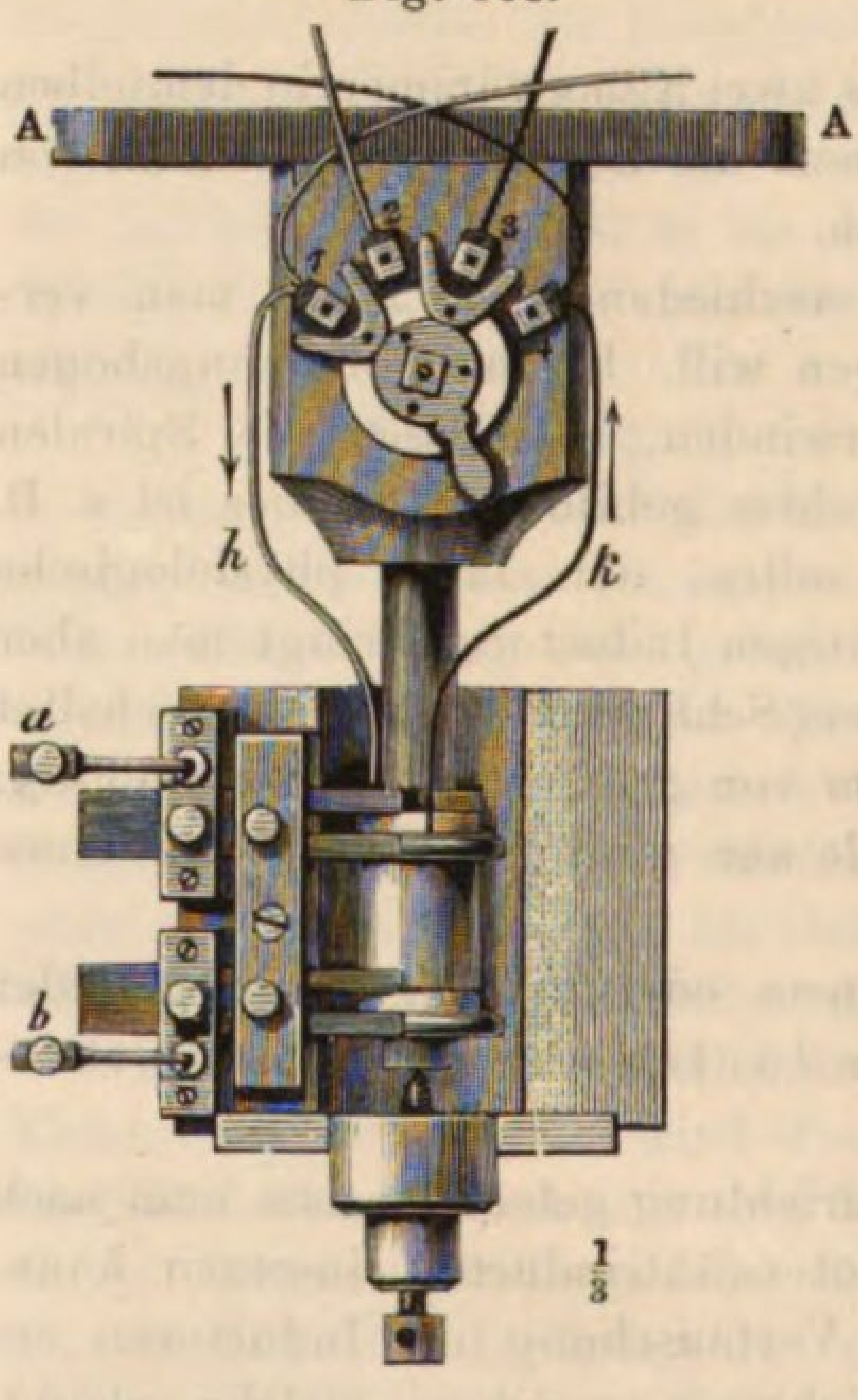
dessen Leitungswiderstand nur halb so gross ist, als der einer einzelnen Spirale.

Der Pachytrop, welchen Stöhrer an seinen mittelgrossen Maschinen anbringt, hat folgende aus Fig. 508 zu ersehende Einrichtung.

Es stellt AA die eiserne Platte dar, welche die eisernen Kerne der beiden Drahtrollen trägt und durch deren Mitte die Rotationsaxe des ganzen Apparates geht; an derselben ist, dem Commutator zugewendet, ein auf zwei Seiten abgeflachtes Stück Holz befestigt, welches auf der einen Seite die fragliche Vorrichtung trägt.

Auf der Holzfläche sind zunächst vier Kupferplättchen befestigt, welche in Fig. 508 mit 1, 2, 3 und 4 bezeichnet sind. An 1 und 2 sind zwei gleichnamige Drahtenden der beiden Drahtspiralen befestigt, die beiden anderen Drahtenden bei 3 und 4. Nehmen wir z. B. an, das von der Spirale rechts kommende Drahtende, welches bei 1 befestigt ist, sei für einen bestimmten Moment positiv, so ist dasjenige Drahtende der linken Spirale, welches gleichzeitig positiv ist, in 2 befestigt. — Das bei 4 befestigte Drahtende führt zur linken, das bei 3 befestigte Drahtende führt zur rechten Spirale; diese beiden sind in dem eben besprochenen Momente negativ.

Fig. 508.



Von 1 führt ein Kupferdraht h zum ersten, von 4 ein anderer k zum zweiten halbkreisförmigen Kamme des Commutators.

Die vier Kupferstückchen 1, 2, 3 und 4 liegen auf dem Umfange eines Kreises, in dessen Mittelpunkt eine um denselben drehbare Elfenbeinscheibe befestigt ist; diese trägt zwei von einander isolirte Gabeln von Kupfer, welche in unserer Figur in solcher Stellung gezeichnet sind, dass ihre Arme nicht auf die Kupferstückchen fallen. Bei solcher Stellung sind die Spiralen gar nicht geschlossen; bei der Umdrehung der Rotationsaxe kann man also auch keinerlei Stromwirkung erhalten.

Nun aber werde die Elfenbeinscheibe so gedreht, dass 1 und 2 durch die eine, 3 und 4 durch die andere Gabel verbunden sind. Der positive Strom der Spirale rechts kommt jetzt direct nach 1, der positive Strom der Spirale links kommt über 2 durch die Gabel gleichfalls nach 1, der Draht h führt also die positiven Ströme beider Spiralen dem ersten Kamme des Commutators zu, während er nachher durch den Draht k nach 4 gelangt, um sich hier zu theilen, indem er von 4 direct zur linken und

durch die zweite Gabel über 3 zur rechten Spirale gelangt. Der Strom, welcher den Schliessungsbogen zwischen *a* und *b* durchläuft, geht also zur Hälfte durch die eine, zur Hälfte durch die andere Spirale.

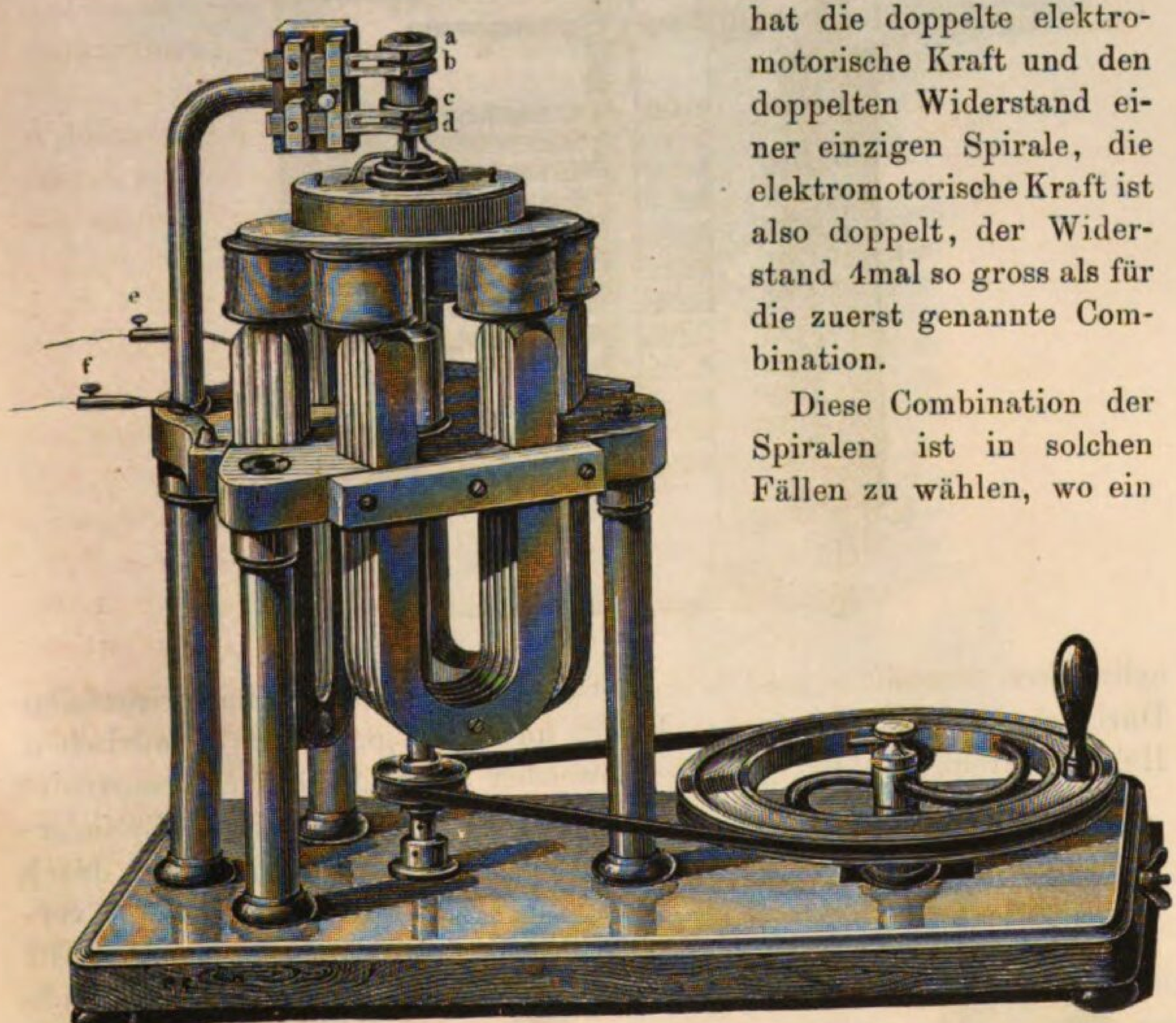
Betrachtet man jede Spirale als einen Elektromotor, so sind hier gleichsam die beiden Elektromotoren neben einander combinirt; die elektromotorische Kraft ist dieselbe, der Widerstand ist halb so gross, als für eine Spirale allein.

Diese Combination ist anzuwenden, um stärkere Ströme im Schliessungsbogen von verhältnissmässig geringem Widerstande zu erhalten.

Wird die Elfenbeinscheibe so gedreht, dass 2 und 3 durch eine Gabel leitend verbunden werden, so muss der Strom beide Spiralen hinter einander durchlaufen. Der positive Strom, welcher durch *k* bei 4 eintritt, geht von da in die Spirale links; nachdem er diese durchlaufen hat, gelangt er über 2 durch die Gabel nach 3, um die Spirale rechts zu durchlaufen und dann über 1 und *h* zum Commutator zu gelangen.

Für diese Combination sind also gewissermaassen die beiden elektromotorischen Elemente zur Säule verbunden, man hat die doppelte elektromotorische Kraft und den doppelten Widerstand einer einzigen Spirale, die elektromotorische Kraft ist also doppelt, der Widerstand 4mal so gross als für die zuerst genannte Combination.

Fig. 509.



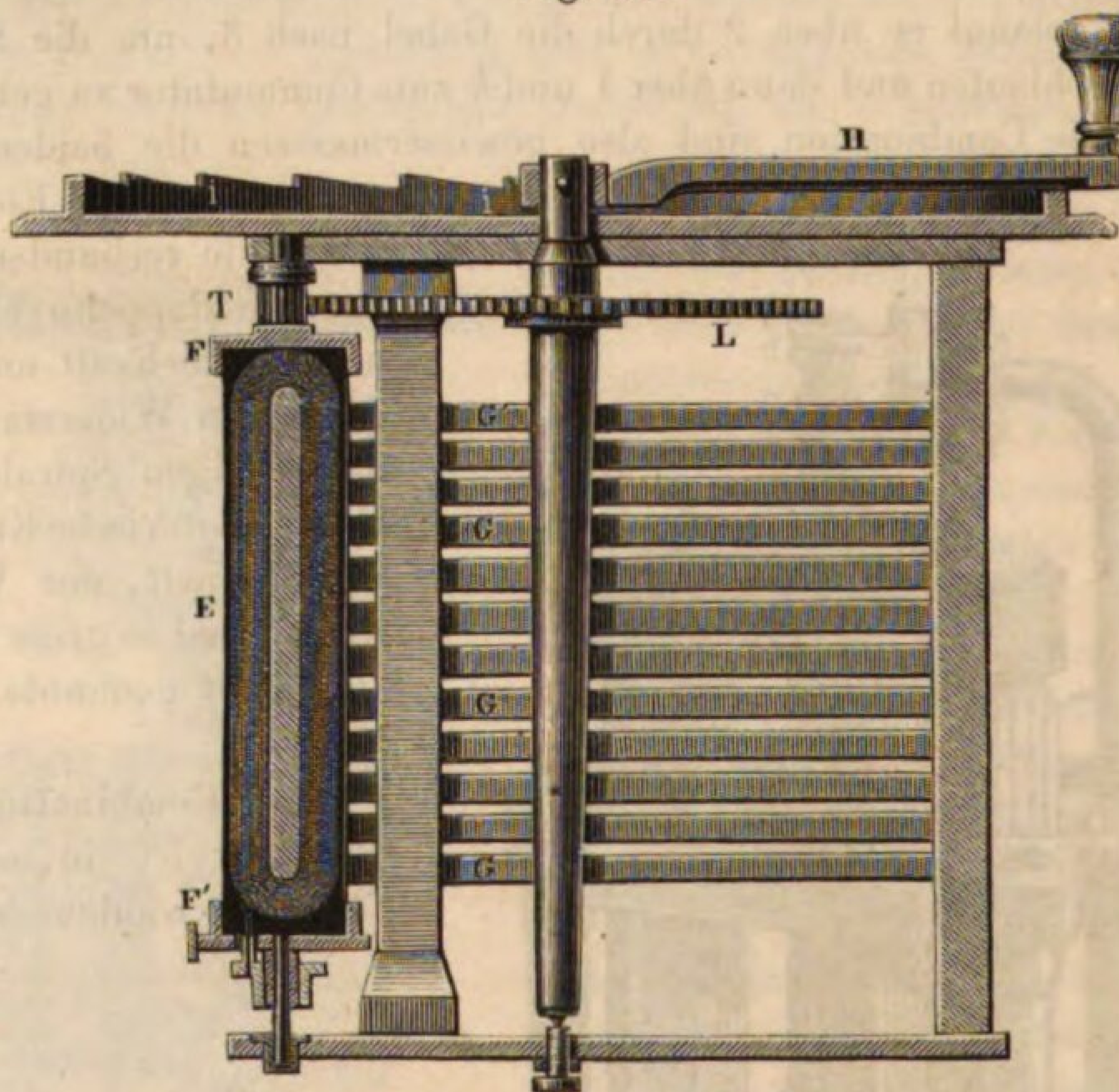
Diese Combination der Spiralen ist in solchen Fällen zu wählen, wo ein grösserer Widerstand in den Schliessungsbogen eingeschaltet ist; bei die-

ser Stellung der elfenbeinernen Scheibe erhält man auch die stärksten physiologischen Wirkungen.

Stöhrer hat grössere Rotationsapparate, Fig. 509 (a. v. S.), mit drei aufrecht stehenden Magneten und sechs Inductionsrollen construirt, welche gleichfalls durch ein Pachytrop, welches aber natürlich complicirter ist, auf verschiedene Weise combinirt werden können.

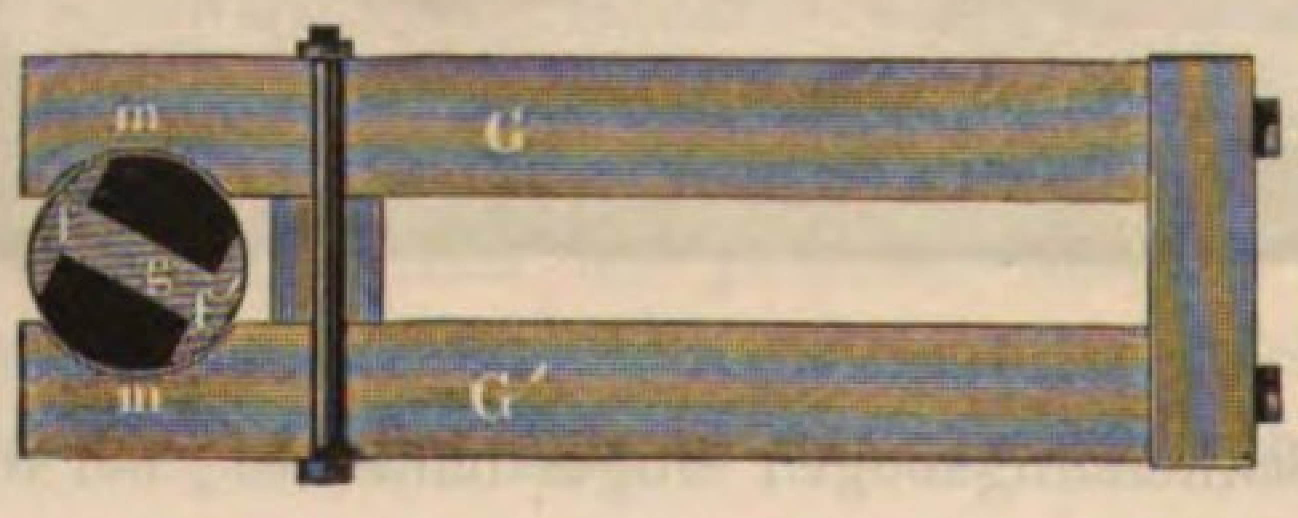
Siemens und Halske haben der Magnetelektrisirmaschine eine ganz eigenthümliche Form, Fig. 510, 511 und 512, gegeben, welche vorzugsweise für telegraphische Zwecke geeignet, mit verhältnissmässig kleinen Stahlmassen bedeutende Effecte liefert. An einer vertical stehenden Eisenplatte sind zwei Reihen horizontaler Magnetstäbe $G\,G'$ befestigt, welche an ihrem vorderen freien Ende an der nach Innen gekehrten Seite bei m

Fig. 510.



cylindrisch ausgedreht sind, wie man dies am deutlichsten im horizontalen Durchschnitt, Fig. 511, sieht. In der hierdurch gebildeten cylindrischen Höhlung dreht sich der Cylinder E, welcher auf folgende Weise construirt ist. Zwei eiserne Cylinderabschnitte ff' sind durch eine eiserne Platte g verbunden, wie man Fig. 511 sieht. Diese verbindende Platte hat aber nicht ganz die Höhe der seitlichen Stücke f, so dass das Ganze

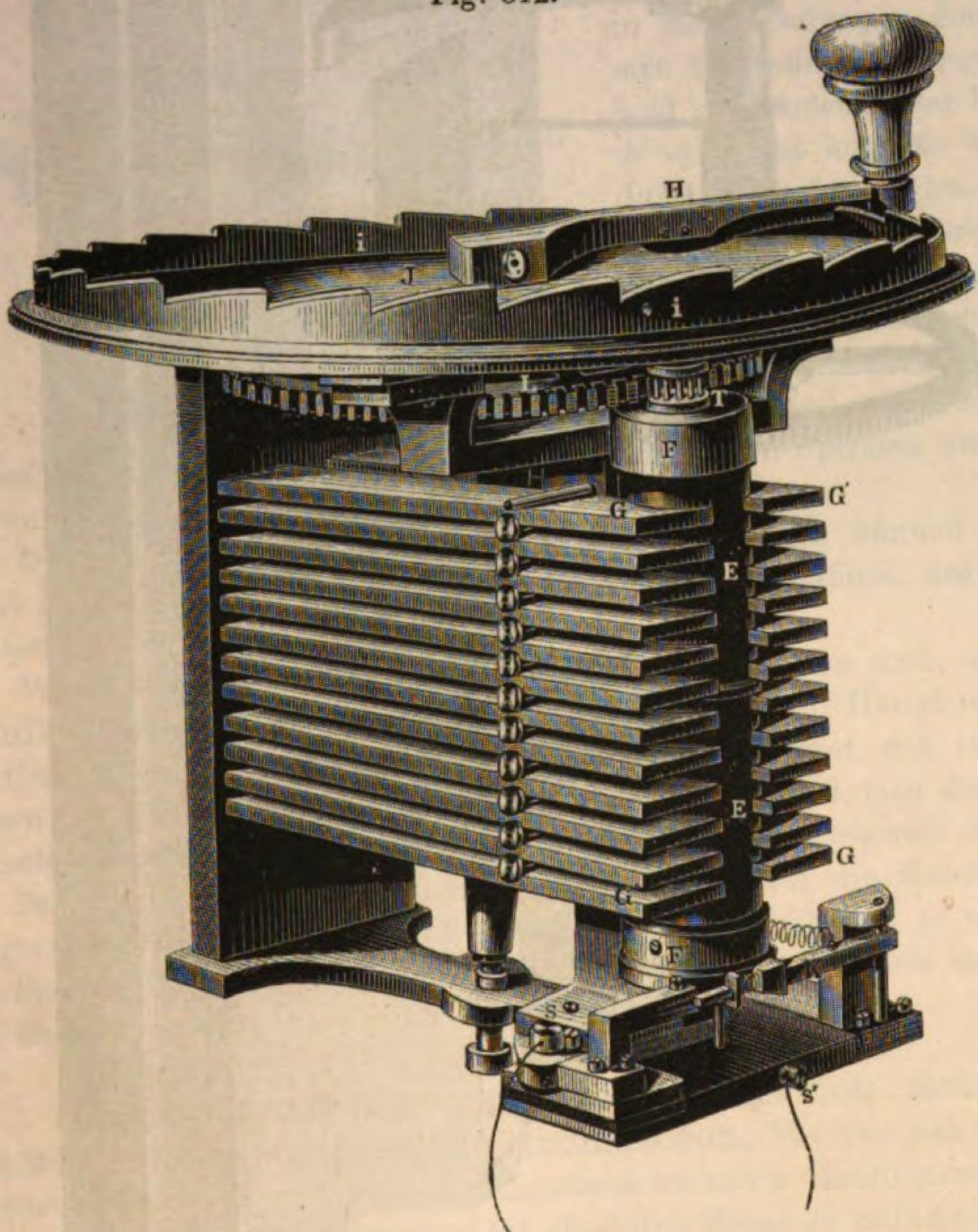
Fig. 511.



eine Art Galvanometerrahmen bildet, welcher mit übersponnenem Kupferdraht so weit vollgewickelt wird, dass das Ganze einen Cylinder bildet, welcher mit einer schützenden Hülle umgeben, oben und unten mit den Metallfassungen F und F' versehen wird. Die Umdrehung des Cylinders E um seine verticale Axe wird vermittelst der Kurbel H, des Zahnrades L und des Triebes T bewirkt.

Die Zähne i, welche eine unter der Kurbel H angebrachte Scheibe J umgeben, dienen dazu, bei der Fortschiebung der Kurbel um je einen Zahn den Cylinder E um je eine halbe Umdrehung vorwärts drehen zu können, so dass man den dadurch erzeugten einmaligen Inductionsstoss erhalten kann.

Fig. 512.



In Frankreich und England werden magneto-elektrische Rotationsmaschinen in ganz grossem Maassstabe ausgeführt, welche von einer Dampfmaschine getrieben, statt einer Zinkkohlenbatterie zur Hervorbringung des elektrischen Kohlenlichtes dienen. Dass man es vortheilhaft

findet, die Dampfmaschine zur Hervorbringung elektrischer Ströme zu verwenden, spricht gleichfalls dafür, dass es nicht vortheilhaft sein kann, Dampfmaschinen durch elektromagnetische Motoren zu ersetzen.

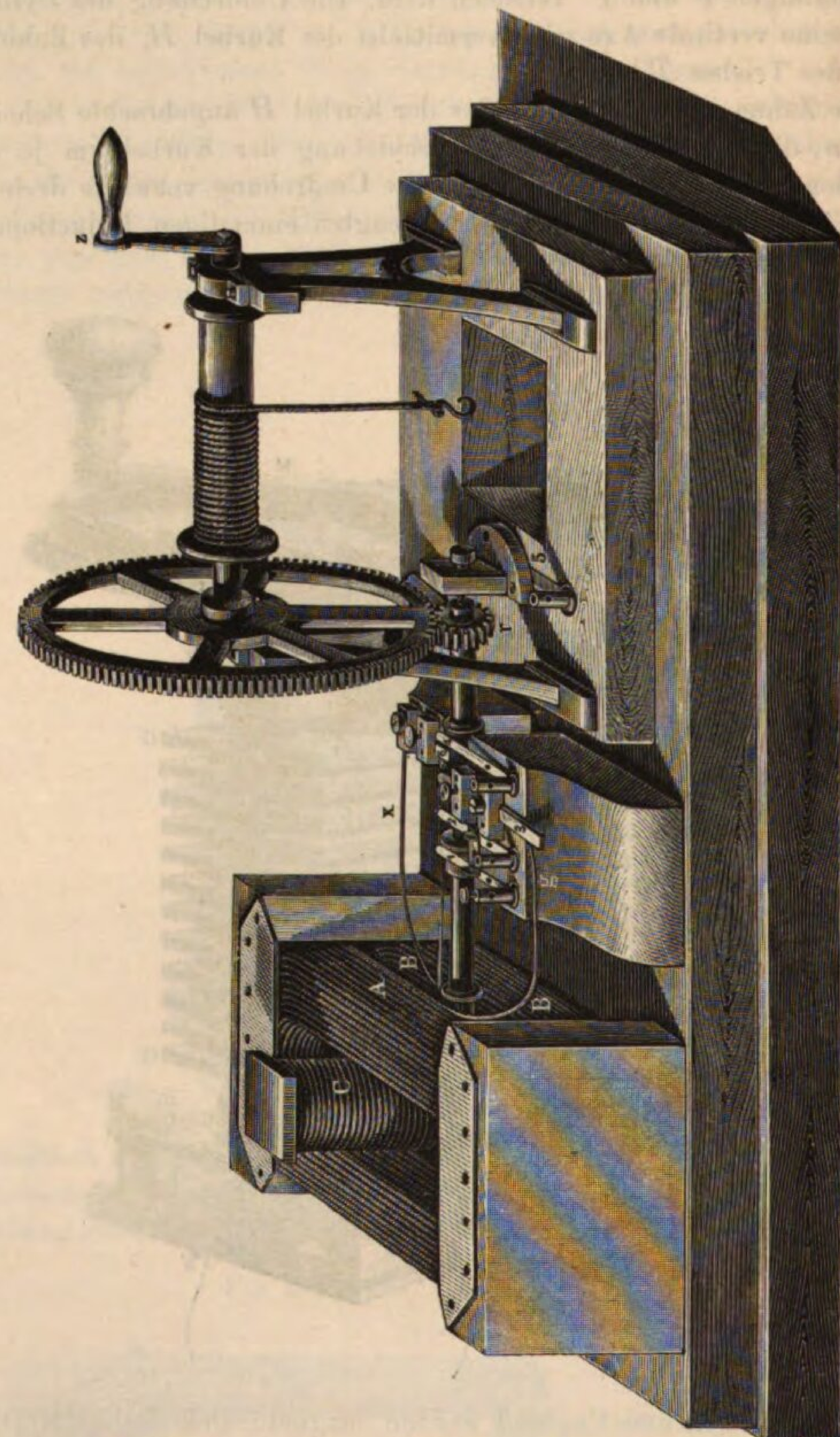
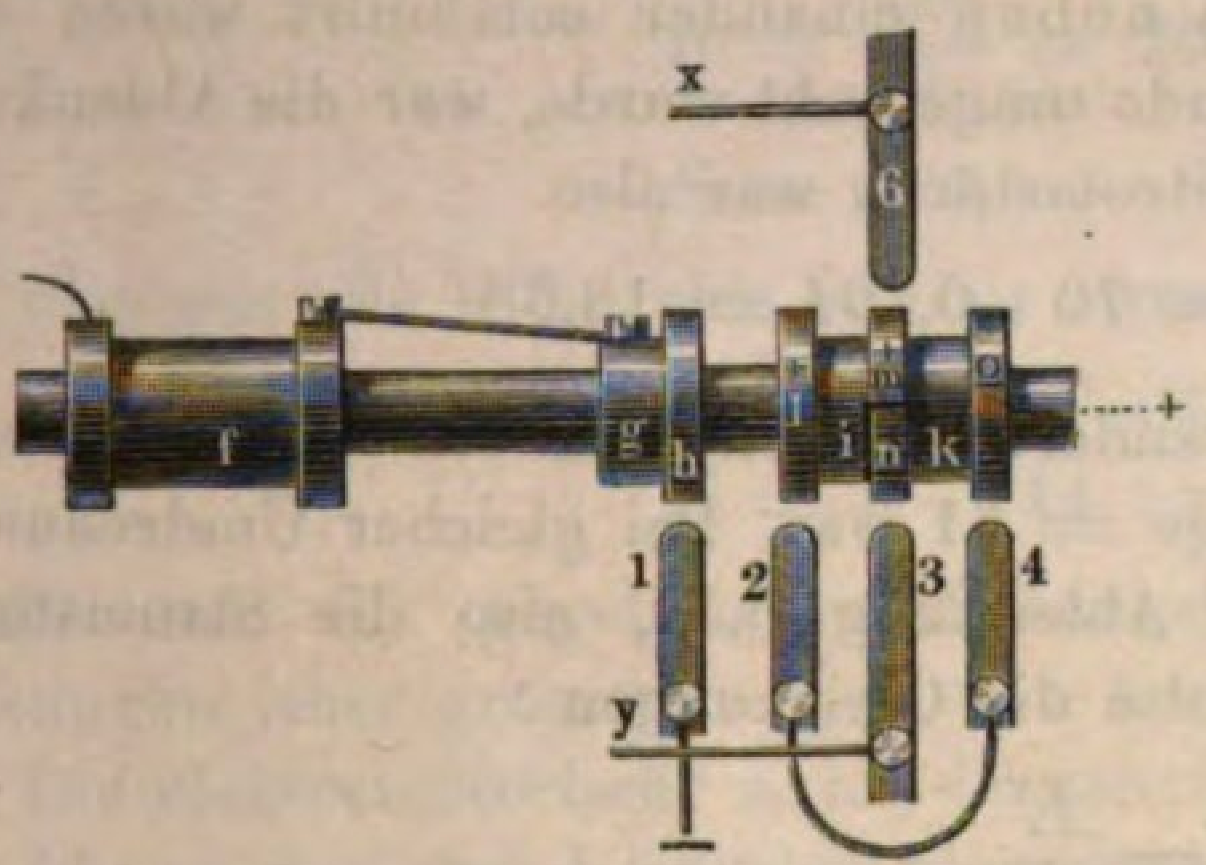


Fig. 513.

Der schon oben beschriebene Apparat, Fig. 513, kann auch zur Hervorbringung von Inductionsströmen gebraucht werden. Zu diesem

Zwecke dreht man zunächst den Verbindungsbügel *s*, Fig. 356, S. 394, aus seiner dort gezeichneten Lage um 90⁰ um, so dass er parallel mit den Federn 1 und 2 steht und keine leitende Verbindung mehr zwischen denselben stattfindet. In Fig. 514 ist dieser Verbindungsbügel *s* ganz weggelassen. Ferner wird der negative Poldraht der stromerregenden Säule in das Messingsäulchen der Feder 1 eingeschraubt. Der Strom tritt jetzt durch die Feder 5, Fig. 513, ein, gelangt durch die Rotationsaxe des Apparates in die Windungen des Elektromagnets und tritt durch die Feder 1 aus, ohne in die Windungen der Rahmen eintreten zu können.

Fig. 514.



Wird nun der Elektromagnet mit Hülfe der Kurbel *z*, Fig. 513, umgedreht, so entsteht in den Windungen der Rahmen ein Inductionsstrom, sobald die Säulchen der Federn 2 und 4 in leitende Verbindung gebracht werden.

Da dieser Inductionsstrom durch den Commutator geht, so erhält man ihn gleich commutirt, d. h. stets in gleicher Richtung und nicht bei jeder halben Umdrehung richtungswechselnd, wie er in den Spiralen ursprünglich entstand.

Dieser Inductionsstrom ist stark genug, um einen dünnen Platindraht ins Glühen zu bringen. Beim Schliessen und Oeffnen des Inductionsstromes entstehen Funken.

Wenn die Windungen der Rahmen nicht geschlossen sind, so kann natürlich auch kein Strom in denselben inducirt werden. Hängt man nun ein Gewicht an die Schnur, so rotirt der Elektromagnet mit einer gewissen Geschwindigkeit, welche sogleich abnimmt, sobald man durch metallische Verbindung der Säulchen 2 und 4 die Rahmenspirale schliesst, ein Beweis, dass der inducirte Strom hemmend auf die Rotation des Magnets wirkt. Diese Hemmung wird um so merklicher, je schneller die Rotation ist. Von diesen inducirten Strömen war bereits in §. 137 die Rede.

Vergleichung der magneto-elektrischen Rotationsmaschinen mit anderen Elektromotoren. 181 Weber hat es zuerst versucht, genaue Messungen mit magneto-elektrischen Rotationsmaschinen anzustellen und ihre Wirkungen auf absolutes Maass zu reduciren (Pogg. Annal. LXI. 431). Die Weber'sche Methode lässt sich aber auch bei anderen Einheiten und mit anderen Instrumenten in Anwendung bringen, durch welche die Versuche leichter anzustellen und die Resultate leichter zu übersehen sind; kurz, man kann die Constanten, von welchen

die Stärke des Stromes einer magneto-elektrischen Rotationsmaschine abhängt, in derselben Weise bestimmen, wie die Constanten eines Volta'schen Elementes, vorausgesetzt, dass der Strom im Schliessungsbogen stets gleiche Richtung hat. Weber leitete den Strom der Rotationsmaschine durch eine Widerstandsrolle und beobachtete, welche Ablenkung dieselbe an einem Spiegelgalvanometer hervorbrachte. Annähernd genau lassen sich solche Bestimmungen auch mit der Tangentenbussole ausführen.

In den Schliessungsbogen der auf Seite 539 abgebildeten Rotationsmaschine wurde eine Tangentenbussole gebracht, deren Reductionsfactor gleich 70 war. Als die Spiralen neben einander combinirt waren und die Kurbel zweimal in der Secunde umgedreht wurde, war die Ablenkung der Tangentenbussole 11°; die Stromstärke war also

$$70 \,.\, tang\, 11^0 = 70 \,.\, 0{,}194 = 13{,}58.$$

Nun wurde bei sonst unveränderten Umständen ein Eisendraht eingeschaltet, dessen reducirte Länge = 61 war. Bei gleicher Umdrehungsgeschwindigkeit war jetzt die Ablenkung 5,5°, also die Stromstärke 70 . 0,096 = 6,72; wir haben also die Gleichungen

$$13{,}58 = \frac{E}{R},$$

$$6{,}72 = \frac{E}{R + 61},$$

woraus sich ergiebt

$$R = 60,$$
$$E = 814.$$

Combinirt man die beiden Spiralen hinter einander, so hat man, wie bereits oben erwähnt wurde, die doppelte elektromotorische Kraft und den 4fachen Widerstand. Für den Fall also, dass der Widerstand im Schliessungsbogen gegen den der Spiralen vernachlässigt werden kann, wäre also die Stromstärke

$$\frac{2 \,.\, 814}{4 \,.\, 60} = 6{,}78 = 70 \,.\, 0{,}0968 = 70 \,.\, tang\, 5^0\, 32'.$$

Als der Versuch angestellt, d. h. als eine der Tangentenbussolen ohne sonstigen merklichen Widerstand in den Schliessungsbogen des Instrumentes eingeschaltet wurde, ergab sich bei der schon angeführten Umdrehungsgeschwindigkeit die Ablenkung von 5,7°, was mit der berechneten sehr nahe übereinstimmt.

Nach diesen Versuchen wäre also der Widerstand einer solchen Inductionsspirale ungefähr gleich 120, während bei der angegebenen Umdrehungsgeschwindigkeit die elektromotorische Kraft einer Spirale 814, also nahe eben so gross ist, wie die eines Bunsen'schen Bechers.

Bei jeder Umdrehung der Kurbel macht die Rotationsaxe des In-

ductors 7 Umdrehungen, im obigen Falle also 14 Umdrehungen in der Secunde, was 28 Polarisationswechsel in den Eisenkernen der Spiralen macht.

Nach diesen Auseinandersetzungen lassen sich jetzt auch annähernd der Widerstand und die elektromotorische Kraft für die verschiedenen Combinationen der grösseren Stöhrer'schen Maschine, Fig. 509, berechnen, vorausgesetzt, dass die Spiralen den unserigen gleich, und dass bei gleicher inducirender Kraft der Magnetpole gleichfalls 28 Polarisationswechsel in der Secunde vorkommen; sind alle 6 Spiralen neben einander combinirt, so hat man

$$R = \frac{120}{6} = 20$$

$$E = 814,$$

sind dagegen alle 6 Spiralen hinter einander combinirt

$$R = 6 \,.\, 120 = 720$$

$$E = 6 \,.\, 814 = 4884,$$

wonach man für gegebene Schliessungsbogen ziemlich annähernd die Wirkungen jenes grösseren Apparates berechnen kann.

Die elektromotorische Kraft der magneto-elektrischen Rotationsapparate hängt von der Umdrehungsgeschwindigkeit ab, wie dies Weber durch seine bereits citirten Messungen nachgewiesen hat. Auch mit unserer kleineren Maschine habe ich dergleichen Messungen gemacht. Als die Kurbel nur einmal in der Secunde umgedreht wurde, erhielt man $8{,}5^0$ Ablenkung; während also die Zahl der Polaritätswechsel in der Secunde von 28 auf 14 herabkam, nahm die Stromstärke nur im Verhältniss von 0,194 : 0,149 oder von 1 : 0,76 ab.

Im Allgemeinen nimmt also die elektromotorische Kraft mit der Rotationsgeschwindigkeit zu, aber nicht in gleichem Verhältniss. Ob die elektromotorische Kraft für eine bestimmte Geschwindigkeit ein Maximum erreicht, um über dieselbe hinaus wieder abzunehmen, oder ob sich die elektromotorische Kraft asymptotisch einem grössten Werthe nähert, ist noch nicht ermittelt.

Reaction der durch Bewegung inducirten Ströme. Wenn 182
man in der Weise, wie wir im §. 179 gesehen haben, einer geschlossenen Inductionsspirale einen Magnetstab nähert, so werden, wie bereits dort angeführt wurde, in der Spirale Ströme inducirt, welche den Ampère'schen Strömen des genäherten Magnets entgegengesetzt sind. Nähert man etwa von oben her der Spirale den Nordpol des Magnets, so wird also das obere Ende der Spirale durch die inducirten Ströme gleichfalls zu einem Nordpol, welcher den Nordpol des Magnets abstösst, also hemmend auf die Annäherung desselben wirkt. Wird der Nordpol des Magnets zurückgezogen, so inducirt er Ströme, welche mit den seinigen gleichgerichtet sind, das obere Ende der Spirale wird zum Südpol, welcher den

weggezogenen Nordpol des Stabes zurückzuhalten strebt. Mag man also den Magnetstab der Spirale nähern oder ihn von derselben zurückziehen, so werden die inducirten Ströme stets hemmend auf die Bewegung des Magnets wirken.

Am Schlusse des §. 180 haben wir ein Beispiel dieser hemmenden Wirkung der Inductionsströme kennen gelernt. Eine eigentliche Annäherung und Entfernung des rotirenden Elektromagnets gegen die horizontalen Windungen des Rahmens findet hier nicht statt; die Windungen des Eektromagnets nähern sich einmal dem Parallelismus mit den Windungen des Rahmens, und dann induciren sie entgegengesetzte Ströme in demselben; oder sie entfernen sich wieder von diesem Parallelismus, wodurch gleichgerichtete Ströme im Rahmen inducirt werden. Die Wechselwirkung zwischen den Strömen des rotirenden Elektromagnets und den von ihm inducirten Strömen im Rahmen erklärt vollständig die oben besprochene Hemmung der Rotation.

Nicht allein in geschlossenen Drahtwindungen, sondern in jedem massiven Leiter, in dessen Nähe ein Magnet sich bewegt, werden Ströme inducirt, welche hemmend auf seine Bewegung wirken. Lässt man z. B. einen an Seidenfäden aufgehängten Magnetstab einmal vollkommen frei, dann aber wieder umgeben von einem kupfernen Bügel, wie es Fig. 515 dargestellt ist, oscilliren, so wird bei gleichem ursprünglichen Ausschlagswinkel der Magnetstab im letzteren Falle weit eher zur Ruhe kommen, d. h. die Oscillationen werden weit schneller aufhören als wenn der kupferne Bügel fehlt. Darauf gründet sich die Anwendung kupferner Dämpfer, mit welchen der Magnet der in §. 126 besprochenen Spiegelgalvanometer, Fig. 326, 327 u. 331, umgeben ist.

Fig. 515.



Die Induction von Strömen und die Rückwirkung derselben auf den inducirenden Magnet erfolgt aber auch ganz in gleicher Weise, wenn ein beweglicher Leiter in der Nähe eines festen Magnets bewegt wird. Auch hier wirken die inducirten Ströme im bewegten Leiter und die Ampère'schen Ströme des Magnets (oder Elektromagnets) hemmend auf die Bewegung des Leiters, wie man sich dies sehr auffallend in folgendem von Faraday herrührenden Versuch zeigt. Man hänge einen massiven Würfel von Kupfer zwischen den beiden Polen eines kräftigen Elektromagnets an einem Faden auf, den man durch vielfache Drehung um seine eigene Axe stark tordirt. Ueberlässt man ihn sich selbst, während der Strom noch nicht die Windungen des Elektromagnets durchläuft, so

fängt der Würfel an, rasch um seine verticale Axe zu rotiren, er steht aber **augenblicklich** still, sobald man den Elektromagnet in Thätigkeit setzt.

Um den Versuch mit dem Elektromagnet, Fig. 338 Seite 366, zu machen, setze man die in Fig. 475 Seite 517 dargestellten Halbanker auf und schraube nach Entfernung der Glassäulchen, welche die Polspitzen *s* und *t* tragen, in das in der Mitte des Brettes *AA* befindliche Metallplättchen *V* die zum Aufhängen des Würfels dienende Vorrichtung, Fig. 516, auf, welche hier im doppelten Maassstab in Fig. 475 dargestellt ist.

Foucault brachte eine **kupferne Scheibe**, welche man, an einer Kurbel drehend, durch Vermittelung von Zahnrädern in rasche Rotation

Fig. 516.

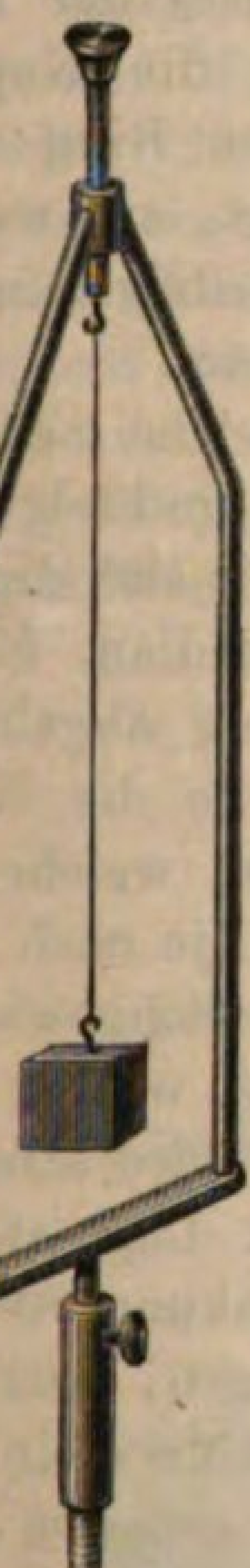
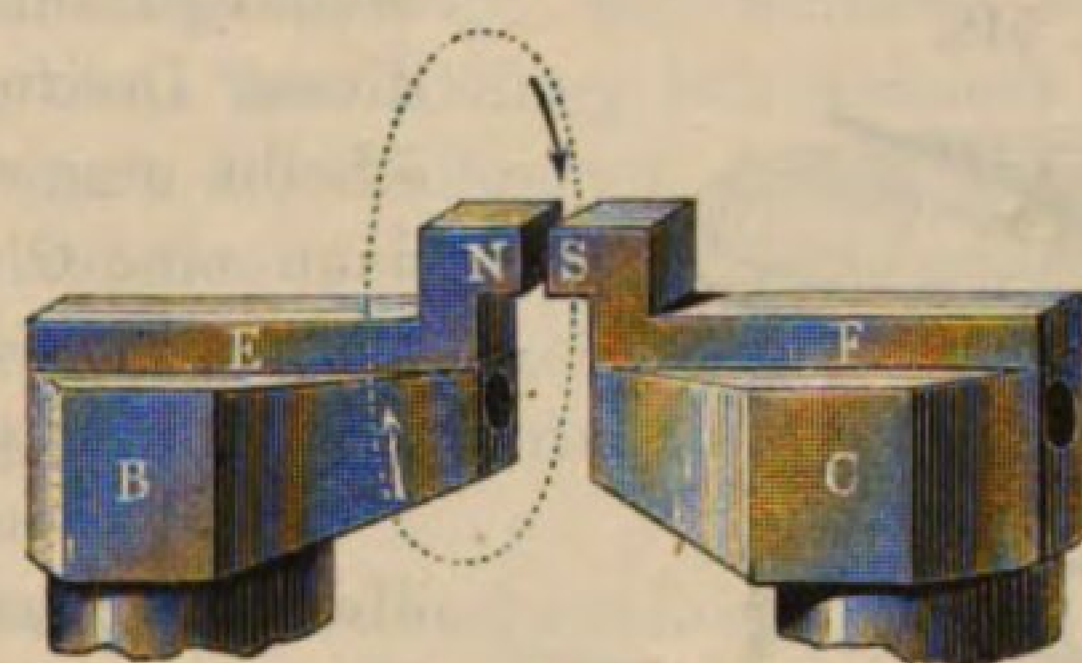


Fig. 517.



versetzen konnte, zwischen die beiden Pole eines kräftigen Elektromagnets. Fig. 517 deutet an, wie der Versuch mit Hülfe des Elektromagnets, Fig. 338 Seite 366, anzustellen ist. Auf die schon besprochenen eisernen Halbanker *B* und *C* werden die Eisenstücke *E* und *F* so aufgeschraubt, dass die einander zugewendeten Polflächen bei *N* und *S* nur 3 bis 4 Linien von einander entfernt sind. Zwischen diese beiden Polflächen wird nun die Kupferscheibe eingeschoben, deren Lage in unserer Figur durch einen punktirten Kreis angegeben ist. Das Räderwerk kann ungefähr so eingerichtet sein, dass auf eine Umdrehung der Kurbel 8 bis 12 Umdrehungen der Scheibe kommen.

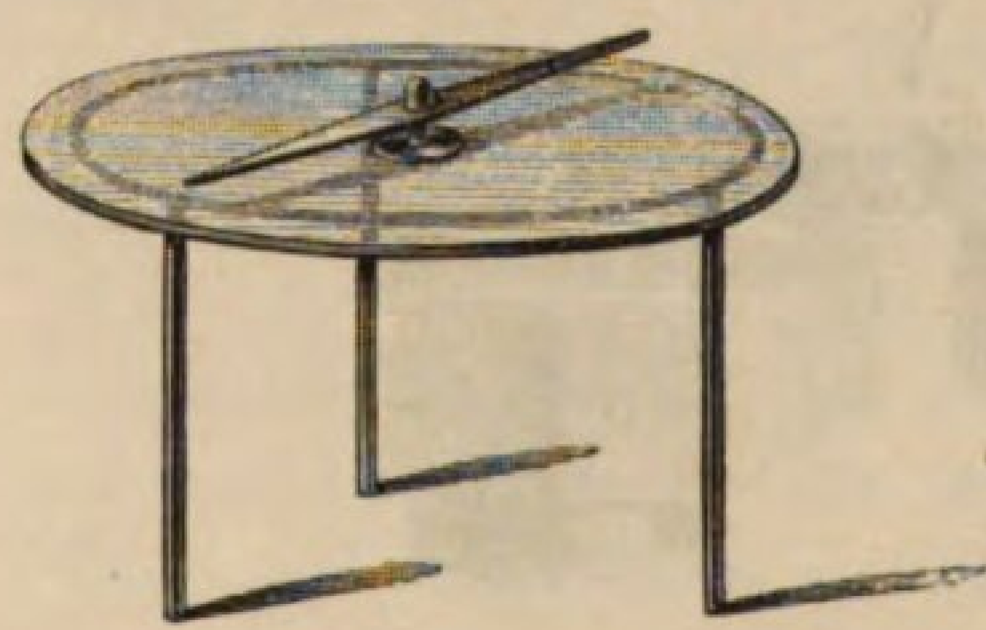
So lange nun der Elektromagnet nicht in Thätigkeit gesetzt ist, kann man ohne grosse Mühe die Kupferscheibe in rasche Rotation versetzen. Sobald man aber einen Strom durch die Windungen des Elektromagnets gehen lässt, fühlt die Hand, welche an der Kurbel arbeitet, einen bedeutenden Widerstand, und nur mit grosser Kraftanstrengung kann man die Drehung der Scheibe bewirken. Die Reaction zwischen dem Magnet und der rotirenden Scheibe wirkt also wie die Reibung als Hinderniss der Bewegung. Wenn man mit Anstrengung die rotirende Bewegung der Scheibe zwischen den Magnetpolen eine Zeit

lang unterhält, so erwärmt sie sich nach und nach, und zwar kann ihre Temperatur auf diese Weise bis über 90° gesteigert werden.

Wenn eine Kupferscheibe in der Nähe eines leicht beweglichen Magnets rotirt, so wird die Reaction zwischen der Scheibe und dem Magnet den letzteren selbst in Bewegung setzen, wie dies in der That von Arago beobachtet worden ist, als er unter einer in horizontaler Ebene drehbaren Magnetnadel eine horizontale Kupferscheibe um ihre verticale Axe rotiren liess.

Man kann den Versuch mit jeder Centrifugalmaschine anstellen. Mit der Fig. 325, Seite 264 des 1. Bandes abgebildeten Schwungmaschine lässt sich der Versuch einfach auf folgende Weise arrangiren. Nachdem die in ihrer horizontalen Ebene rotirende Kupferscheibe auf den Zapfen *a* aufgesetzt ist, wird auf das Gestell ein Dreifuss, Fig. 518, von starkem Messingdraht so gestellt, dass der Ring dieses Dreifusses ungefähr die Kupferscheibe umgiebt. Auf diesen Ring wird dann eine Glasscheibe gelegt, auf welche man endlich die auf einer niedrigen Spitze spielende Magnetnadel aufsetzt.

Fig. 518.



Die Erscheinungen, welche man mit diesem Apparate beobachtet, sind folgende. Wenn Alles in Ruhe ist, stellt sich die Nadel in den magnetischen Meridian. Fängt man nun an zu drehen, so wird die Nadel in der Richtung abgelenkt, nach welcher sich die Scheibe dreht. Die Kraft also, welche die Nadel fortzieht, wirkt der magnetischen Kraft der Erde entgegen, welche die Nadel in den magnetischen Meridian zurückzuführen strebt; je nach dem Verhältnisse dieser beiden Kräfte findet eine bestimmte Gleichgewichtslage für die Nadel statt. Die ablenkende Kraft der Scheibe wächst mit der Geschwindigkeit; bei einer geringen Geschwindigkeit wird also die Nadel z. B. eine Ablenkung von 10° erleiden und in dieser Lage stehen bleiben; bei einer grösseren Geschwindigkeit wird die Ablenkung 20° betragen u. s. w. Man kann es auf diese Weise dahin bringen, dass die Nadel bei jeder beliebigen Neigung gegen den magnetischen Meridian von 0° bis 90° stehen bleibt, je nachdem man der Scheibe eine grössere oder geringere constante Geschwindigkeit ertheilt. Sobald aber die Geschwindigkeit einmal gross genug ist, um die Nadel um mehr als 90° abzulenken, giebt es keine Ruhelage für die Nadel mehr, die Nadel dreht sich nun mit der Scheibe.

Die Intensität der Wirkung, welche die rotirende Scheibe auf die Nadel hervorbringt, nimmt mit der Entfernung ab.

Nimmt man statt des Kupfers Scheiben von einem anderen Metall, so nimmt die Stärke der Wirkung mit der Leitungsfähigkeit des Metalles ab.

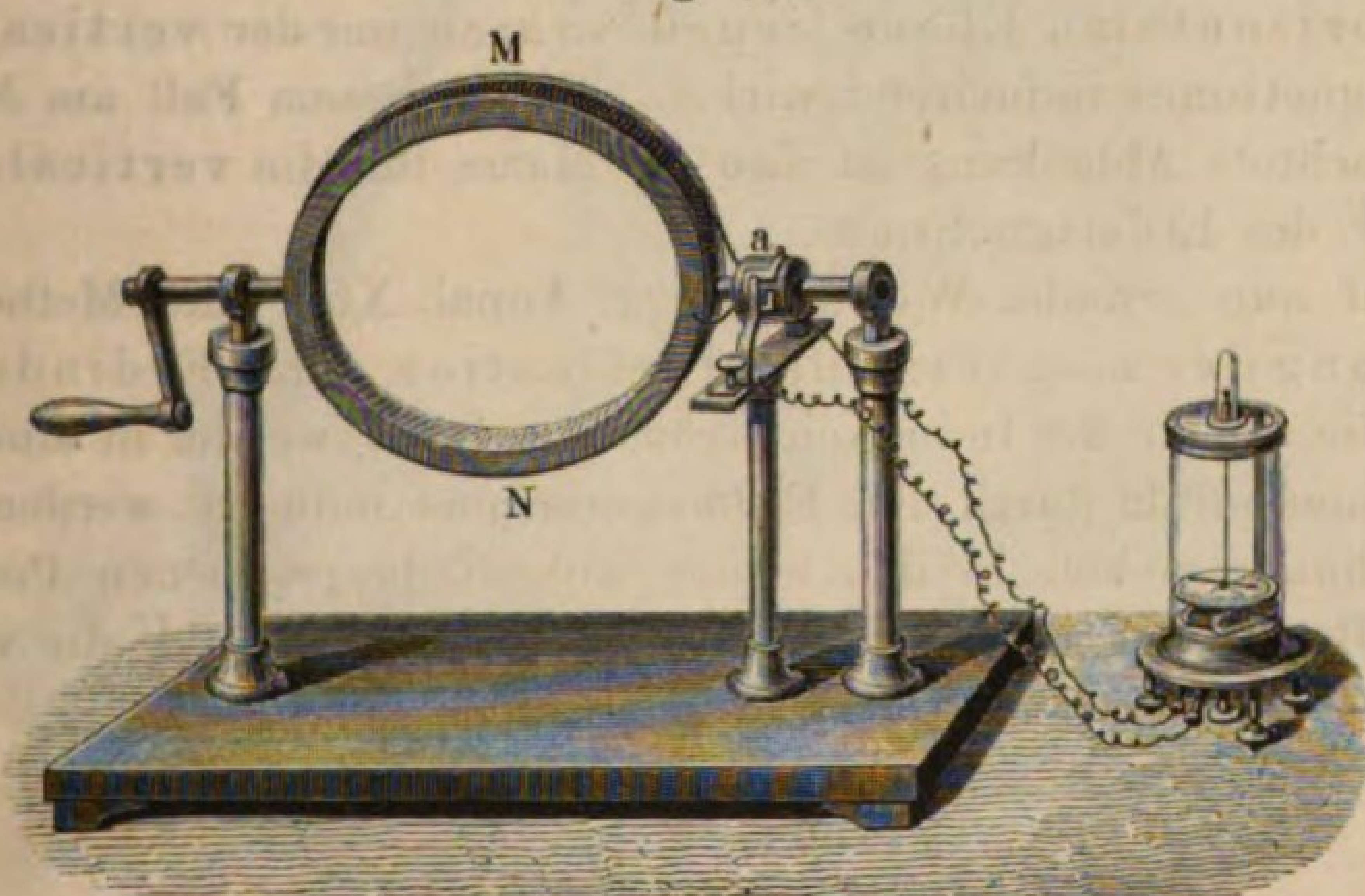
Wenn die Scheibe in der Richtung der Radien eingeschnitten ist, so

verliert sie ihre Wirksamkeit fast ganz, wenn man aber die Einschnitte der kupfernen Scheibe nur am Rande mit einem beliebigen Metalle, selbst mit Wismuth, wieder zulöthet, so wird die verlorene Wirksamkeit zum Theil wieder hergestellt.

Induction elektrischer Ströme durch den Erdmagnetismus. 183 Auch der Erdmagnetismus kann, so gut wie ein Magnet, in einer geschlossenen Spirale Ströme induciren; da aber hier von einem Annähern und Entfernen nicht die Rede sein kann, so muss hier die Induction durch die Rotation der Spirale bewirkt werden. — Faraday hat die Induction durch den Erdmagnetismus zuerst beobachtet. Nach ihm wurde die Induction durch den Erdmagnetismus zunächst durch einige italienische Naturforscher weiter verfolgt und endlich construirte Palmieri einen tellurischen Inductionsapparat, mit welchem er Funken, Schläge und Wasserzersetzung ohne Vermittelung von weichem Eisen hervorbrachte: 200 Windungen eines 1,5 Millimeter dicken Kupferdrahtes waren auf einen elliptischen Rahmen gewickelt, dessen grosse Axe 2,2 und dessen kleine Axe 0,6 Meter betrug. Die grosse Axe dieser Ellipse diente, auf dem magnetischen Meridian rechtwinklig stehend, als Umdrehungsaxe.

Fig. 519 stellt einen derartigen Erdinductionsapparat mit kreisförmigen Windungen dar. Es seien zunächst die Enden der Drahtwin-

Fig. 519.



dungen direct (d. h. ohne Vermittelung des Commutators a, welcher zu diesem Zweck entfernt sein muss) mit einem etwas entfernt stehenden Multiplicator verbunden, und der Rahmen MN so gestellt, dass seine Ebene rechtwinklig steht auf der Richtung der Inclinationsnadel, so wird, wenn man die Axe rasch um 180° dreht, ein Strom in den Windungen inducirt, welcher die Multiplicatornadel nach einer, etwa nach der rechten Seite hin ablenkt. Dreht man alsdann, wenn die Nadel,

auf dem Rückwege begriffen, eben die Gleichgewichtslage passirt, die Windungen rasch in ihre ursprüngliche Lage zurück, so erfolgt eine Ablenkung der Multiplicatornadel nach entgegengesetzter Seite, welche grösser ist als die erste, weil die Nadel schon in Bewegung war, als der Inductionsstrom auf sie wirkte.

Fährt man auf diese Weise fort, jedesmal die Windungen um 180° zu drehen, wenn die Nadel eben die Gleichgewichtslage passirt, so erreicht man nach einiger Zeit ein Maximum der Ablenkung, welches als ein Maass für die inducirende Kraft des Erdmagnetismus betrachtet werden kann.

Hätte man den Apparat so gestellt, dass die Umdrehungsaxe selbst mit der Richtung der Inclinationsnadel parallel ist, so würde man keinerlei Ablenkung am Multiplicator beobachtet haben.

Für den Fall, dass die Umdrehungsaxe der Inductionsspirale eine verticale Lage hat und man die Drehung um 180° jeweils von einer Lage aus vornimmt, bei welcher die Ebene der Windungen rechtwinklig auf dem magnetischen Meridiane steht, kann nur der horizontale Theil des Erdmagnetismus inducirend auf die Spirale wirken, die am Multiplicator beobachtete Ablenkung ist also in diesem Fall ein Maass für die horizontale Composante H des Erdmagnetismus.

Steht endlich die Umdrehungsaxe zwar horizontal, aber in der Ebene des magnetischen Meridians, beginnt man die Drehungen um 180° stets von einer solchen Stellung aus, bei welcher die Windungen in einer horizontalen Ebene liegen, so kann nur der verticale Theil des Erdmagnetismus inducirend wirken, die in diesem Fall am Multiplicator beobachtete Ablenkung ist also ein Maass für die verticale Composante V des Erdmagnetismus.

Darauf nun gründet Weber (Pogg. Annal. XC.) eine Methode zur Bestimmung der magnetischen Inclination durch Erdinduction, indem er die Stärke der Inductionsströme ermittelt, welche in einer grossen Inductionsspirale durch den Erdmagnetismus inducirt werden, wenn die Umdrehungsaxe sich in den beiden zuletzt besprochenen Positionen befindet. Bezeichnet man mit H die horizontale und mit V die verticale Composante der Intensität des Erdmagnetismus, so hat man

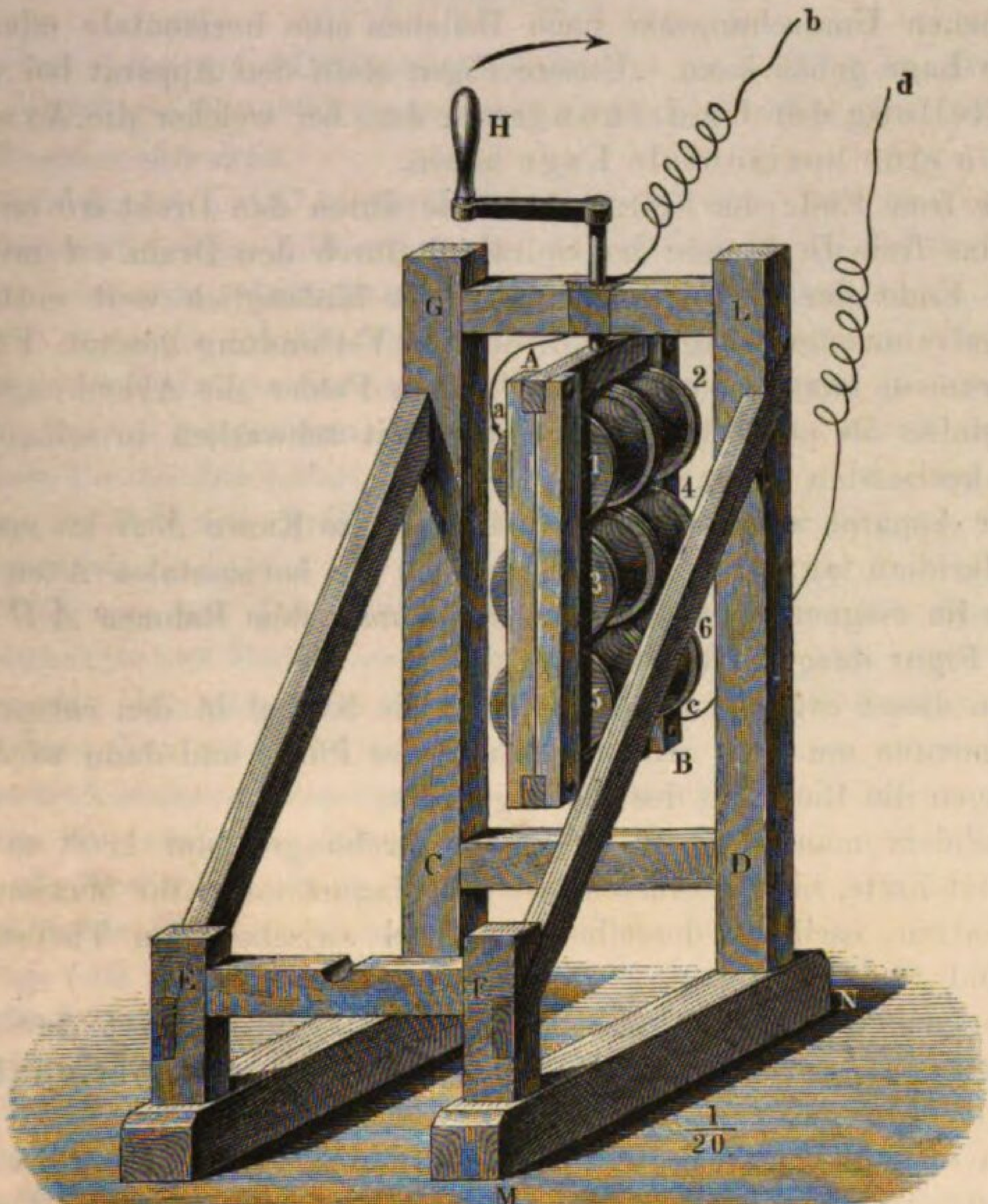
$$tang\, i = \frac{V}{H},$$

wenn man mit i die Inclination bezeichnet.

Die von Weber zu diesem Zwecke verwendete Inductionsspirale war aus einem 542 Meter langen ungefähr 20 Kilogramm schweren übersponnenen Kupferdraht verfertigt und bestand aus 605 Windungen, die in 18 Schichten übereinander lagen. Der Umfang der innersten Schicht betrug 718, der Umfang der obersten Schicht aber betrug 1078 Millimeter. Die Summe der von sämmtlichen Windungen umschlossenen Kreisflächen war 39 216 930 Quadratmillimeter.

Ich habe nun versucht, die Spiralen des auf Seite 366 beschriebenen grossen Elektromagnets zu benutzen, um nach der Weber'schen Methode die Inclination für Freiburg zu bestimmen. Zu diesem Zweck habe ich zunächst je zwei dieser Spiralen auf einen drei Zoll dicken massiven Holzcylinder aufgeschoben und dann die drei Holzcylinder sammt ihren Spiralen in einem starken hölzernen Rahmen AB, Fig. 520, befestigt.

Fig. 520.



Die Drahtenden der einzelnen Spiralen sind alsdann so verbunden, dass sie gewissermaassen eine einzige Spirale von 1980 Windungen bilden.

Ist z. B. *a* die Schraubklemme, welche an dem inneren Drahtende der Spirale 1 angelöthet ist, so ist alsdann das äussere Drahtende von 1 mit dem inneren von 2, das äussere von 2 mit dem inneren von 3 u. s. w. verbunden.

Der Rahmen AB ist nun um eine Axe drehbar, welche seinen län-

geren Kanten parallel durch zwei starke Eisenstäbe gebildet wird, die in der Mitte der schmalen Seiten des Rahmens befestigt sind.

Das eine Ende dieser eisernen Umdrehungsaxe ist mit einem Kurbelarm und Handgriff *H* versehen, während das entgegengesetzte Ende der Axe mit einer Kugel endet, welche in einer halbkugelförmigen Höhlung des Querbalkens *CD* ruht.

Dieser Querbalken *CD* bildet einen Theil des starken Holzgestelles, auf welchem der Rahmen *AB* so angebracht ist, dass man der eben besprochenen Umdrehungsaxe nach Belieben eine horizontale oder eine verticale Lage geben kann. Unsere Figur stellt den Apparat bei verticaler Stellung der Umdrehungsaxe dar, bei welcher die Axen der Spiralen eine horizontale Lage haben.

Das freie Ende der Spirale 1 wurde durch den Draht *ab* mit dem einen, das freie Drahtende der Spirale 6 durch den Draht *cd* mit dem anderen Ende der Drahtwindungen eines hinlänglich weit entfernten Spiegelgalvanometers (Fig. 326, S. 360) in Verbindung gesetzt. Für dieses Instrument kann man ohne merklichen Fehler die Ablenkungen des Magnetstabes als proportional annehmen mit schwachen in seinen Windungen kreisenden Strömen.

Der Apparat wurde so aufgestellt, dass die Kante *MN* im magnetischen Meridian lag; es liegen alsdann auch die horizontalen Axen der 6 Spiralen im magnetischen Meridian, wenn man dem Rahmen *AB* die in unserer Figur dargestellte Stellung giebt.

Von dieser Stellung aus wurde nun die Kurbel in den entsprechenden Momenten um 180° in der Richtung des Pfeils, und dann wieder um 180° gegen die Richtung des Pfeils gedreht.

Nachdem man diese alternirenden Drehungen um 180° so lange fortgesetzt hatte, bis die Ausschläge des Magnetstabes ihr Maximum erreicht hatten, oscillirte derselbe im Mittel zwischen den Theilstrichen 409,3 und 428,5.

Der Ausschlagsbogen 428,5 — 409,3 = 19,2 ist der horizontalen Intensität des Erdmagnetismus proportional und kann als Maass derselben dienen.

Um in ähnlicher Weise ein Maass für den verticalen Theil des Erdmagnetismus zu erhalten, wurde die Umdrehungsaxe des Rahmens *AB* horizontal gelegt, indem der Theil der Axe, an welchem die Kurbel *H* befestigt ist, aus dem horizontalen Balken *GL* herausgenommen und in eine halbkreisförmige Rinne in dem Querbalken *EF* hineingelegt wurde.

Bei dieser Lage der Umdrehungsaxe wird nun der Rahmen zunächst so gestellt, dass die Axen der Spiralen vertical stehen. Von dieser Lage ausgehend wird dann die Axe mit dem Rahmen nach einer Seite um 180° hin- und im entsprechenden Moment wieder um 180° zurückgedreht.

Nachdem auf diese Weise die Ausschläge wieder auf ein Maximum

gebracht worden waren, oscillirte der Magnetstab im Mittel zwischen den Theilstrichen 397,1 und 438,2, woraus sich ein Ausschlag von $41,1^{mm}$ ergiebt, welcher ein Maass ist für den verticalen Theil des Erdmagnetismus. Wir haben demnach für Freiburg

$$tang\,i = \frac{41,1}{19,2} = 2,1406,$$

also

$$i = 64^0\,57,6'.$$

Nach Lamont's Bestimmungen ist die Inclination für Freiburg im Jahre 1863 gleich $64^0\,55,4'$, was von unserem Resultat für 1863 nur um 2,2 Minuten abweicht.

Aus den in §. 127 mitgetheilten Dimensionen der zur Construction des Apparates Fig. 338 verwendeten Spiralen ergiebt sich, dass die Summe der von sämmtlichen 1980 Windungen umschlossenen Kreisflächen ungefähr 26 000 000 Quadratmillimeter beträgt. Der Strom, welchen der Erdmagnetismus in diesem Apparat inducirt, ist demnach ungefähr $^2/_3$ von demjenigen, welchen die Weber'sche Spirale unter sonst gleichen Umständen liefert, da ja die Stärke des inducirten Stromes der Summe der von den einzelnen Windungen umkreisten Flächenräume proportional ist.

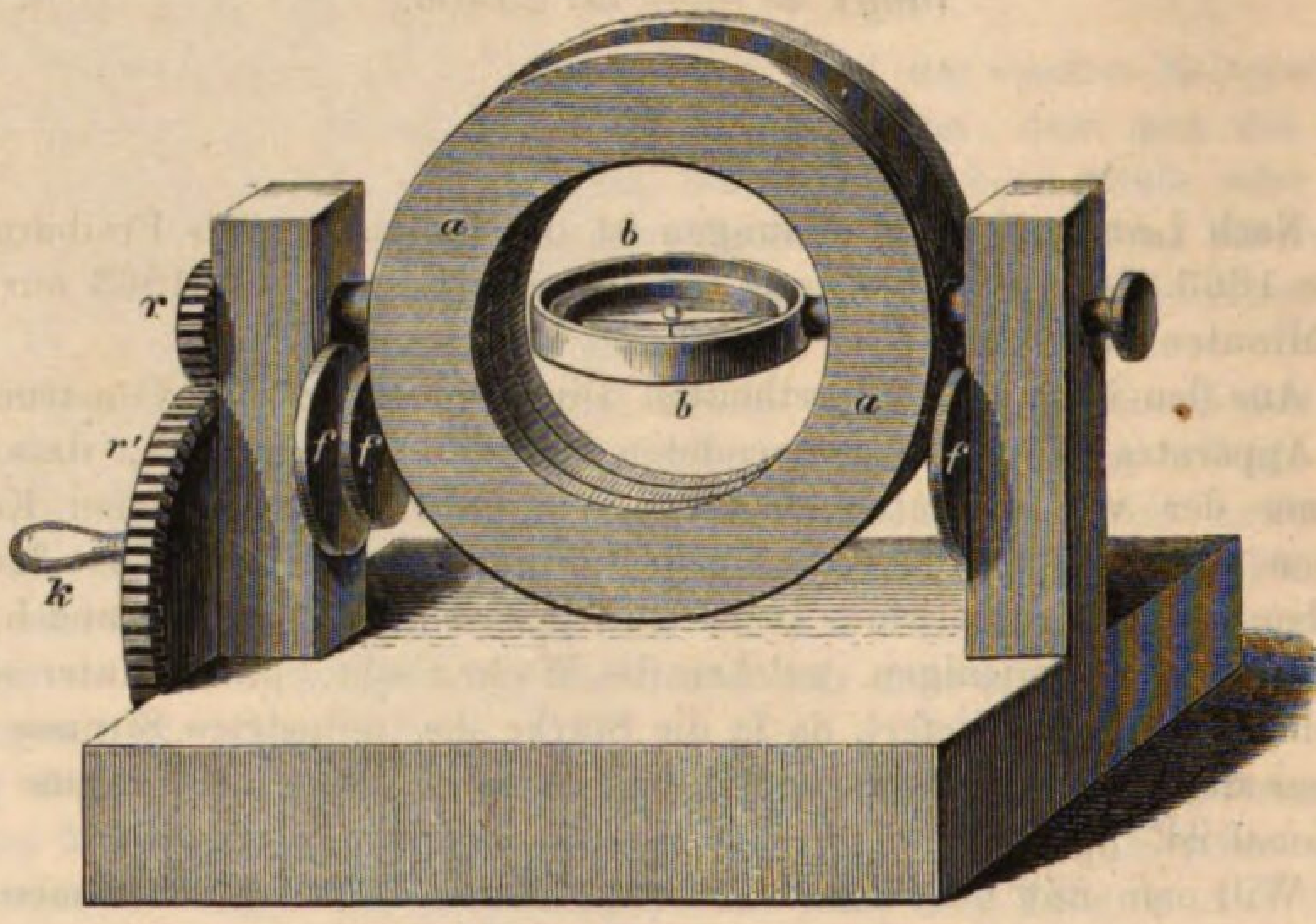
Will man mit den durch Erdmagnetismus inducirten Strömen bei continuirlicher Rotation der Axe experimentiren, so muss man die Drahtenden der rotirenden Spiralen mit einem auf der Rotationsaxe angebrachten Commutator in ähnlicher Weise verbinden, wie dies bei den magneto-elektrischen Rotationsmaschinen der Fall ist. Wenn der Commutator so gestellt ist, dass er gerade in dem Moment wechselt, in welchem ein Wechsel der Stromrichtung in der rotirenden Spirale stattfindet, so liefert der Commutator stets gleichgerichtete Ströme. An dem Apparat Fig. 519 ist ein solcher Commutator bei *a* angebracht. Durch Vermittelung desselben erhält man bei continuirlicher Rotation der Inductionsspirale an dem Multiplicator eine constante Ablenkung.

Weber hat auch noch auf eine zweite sehr sinnreiche Weise die tellurische Induction benutzt, um die magnetische Inclination zu bestimmen. Sein Inductions-Inclinatorium, Fig. 521 (a. f. S.), hat folgende Einrichtung. *aa* ist ein Ring, welcher 100 Mm. inneren und 161 Mm. äusseren Durchmesser hat; er besteht aus 16 ringförmig ausgeschnittenen Kupferblechen, von denen 8 auf der einen, 8 auf der anderen Seite sich befinden, während in der Mitte ein Zwischenraum von 12 Mm. bleibt. Die Dicke des ganzen Ringes mit Einschluss des Zwischenraums betrug 34 Mm. Die Axe, um welche dieser Ring gedreht ist, liegt auf beiden Seiten auf Frictionsrollen. Auf der rechten Seite ist die Axe hohl, und durch diese Höhlung ragt ein Stäbchen in den Ring hinein, welches die Bussole *b* trägt. Die Rotation des Ringes um seine Axe wird unter Vermittelung der Zahnräder *r* und *r'* durch die Kurbel *k* bewirkt. Sieben

Umdrehungen der Kurbel entsprechen 40 Umdrehungen des Inductionsringes.

Das Instrument wird so aufgestellt, dass die Umdrehungsaxe des Inductionsringes in den magnetischen Meridian fällt.

Fig. 521.



Bei jedem Schlage eines Secundenzählers wurde die Kurbel $^1/_2$- oder 1mal herumgedreht, was für den ersten Fall 166,7, für den zweiten 333,4 Umdrehungen des Inductors in der Minute ausmacht, da der Secundenschläger nicht genau Secunden schlug, sondern 60 Schläge = 61,7 Secunden waren.

Bei 166,7 Umdrehungen des Inductors in einer Minute wurde die Magnetnadel um $5{,}63^0$, bei 333,4 Umdrehungen um $10{,}76^0$ abgelenkt; die Ablenkung, also auch die Stärke des inducirten Stromes, ist mithin nahezu der Umdrehungsgeschwindigkeit proportional.

Da die Magnetnadel bei ihrer Ruhelage mit der Umdrehungsaxe des Ringes zusammenfällt, so kann sie im rotirenden Ringe keine Ströme induciren; eben so wenig inducirt der horizontale Theil des Erdmagnetismus im rotirenden Ringe einen Strom, die inducirten Ströme rühren also lediglich von der verticalen Composante des Erdmagnetismus her.

Während der Rotation des Ringes wirken auf die Nadel zwei Kräfte, eine ablenkende, welche von dem inducirten Strome herrührt, also dem verticalen Theile T' des Erdmagnetismus proportional ist, und die wir also mit $bM.T'$ bezeichnen können, wenn M die Stärke des Nadelmagnetismus und b ein constanter Factor ist. Der horizontale Theil des Erdmagnetismus zieht aber die Nadel mit der Kraft MT zurück, wenn T die horizontale Intensität des Erdmagnetismus bezeichnet; folglich ist die Tangente des Ablenkungswinkels v

$$tang\, v = \frac{b\, M T'}{M T} = b \frac{T'}{T} = b \,.\, tang\, i$$

oder

$$tang\, i = a\, tang\, v$$

wenn $a = \frac{1}{b}$, denn der Quotient $\frac{T'}{T}$ ist der Tangente der magnetischen Inclination i gleich. Man könnte also aus der beobachteten Ablenkung v der Nadel unseres Instrumentes die Inclination i berechnen, wenn nur der Factor a bekannt wäre.

Diesen Factor kann man aber umgekehrt für eine bestimmte Umdrehungsgeschwindigkeit bestimmen, wenn die Inclination des Ortes genau bekannt ist. Nach den oben angeführten Beobachtungen war für 166,7 Umdrehungen in der Minute die Ablenkung im Mittel 5,465°, also $tang\, v = 0{,}0962$; für Göttingen, wo die Versuche mit dem Instrument angestellt wurden, war zur Zeit dieser Beobachtungen die Inclination 67° 50'; also $tang\, i = 2{,}4545$, und

$$a = \frac{2{,}4545}{0{,}0962} = 25{,}514.$$

Für die erwähnte Umdrehungsgeschwindigkeit haben wir also

$$tang\, i = 25{,}514\, tang\, v.$$

Man kann also nun, wenn an irgend einem anderen Orte Versuche mit diesem Instrumente gemacht werden, aus dem beobachteten Ablenkungswinkel v die Inclination des Ortes bestimmen. Gesetzt, man habe mit demselben Instrumente an irgend einem Orte für die erwähnte Umdrehungsgeschwindigkeit $v = 3{,}5^0$ gefunden, so ergäbe sich für die Inclination dieses Ortes

$$tang\, i = 25{,}514 \,.\, 0{,}06116 = 1{,}5605$$
$$i = 57^0\, 21'.$$

Der Factor von $tang\, v$ ändert sich übrigens im umgekehrten Verhältniss der Umdrehungsgeschwindigkeit; für 500 Umdrehungen in der Minute (natürlich an demselben Instrument) wäre demnach der Factor von $tang\, v$

$$a = 25{,}514 \,.\, \frac{166{,}7}{500}.$$

So ist man also vermöge dieser äusserst sinnreichen Methode im Stande, aus der beobachteten Ablenkung einer horizontalen Magnetnadel die Inclination des Ortes zu bestimmen. (Poggend. Annal. Bd. XLIII, S. 493.)

Widerstandsbestimmungen nach absolutem Maass. Nachdem wir 184
die Induction elektrischer Ströme durch den Erdmagnetismus kennen ge-

lernt haben, müssen wir nun auf die Bestimmungen des elektrischen Leitungswiderstandes nach absolutem Maass zurückkommen.

Nach dem Ohm'schen Gesetz ist

$$s = \frac{e}{w}$$

wenn s die Stromstärke, e die elektromotorische Kraft und w den gesammten im Schliessungsbogen zu überwindenden Widerstand bezeichnet. Sind zwei der drei Grössen s, e und w bekannt, so lässt sich die dritte berechnen, und zwar ergiebt sich

$$w = \frac{e}{s} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

Wenn also e und s nach absolutem Maass bekannt sind, so lässt sich auch der auf dieses Maass bezogene Werth von w berechnen.

Dass man die Stromstärke nach absolutem Maass bestimmen kann, haben wir bereits in §. 155 gesehen. Die Induction elektrischer Ströme durch den Erdmagnetismus macht es aber möglich, auch die elektromotorische Kraft auf dieses Maasssystem zurückzuführen.

Denken wir uns, ein leitender Kreisring, dessen Ebene mit dem magnetischen Meridian zusammenfällt, werde aus dieser Lage um seinen verticalen Durchmesser in 1 Secunde um 90^0 gedreht, so dass er nun rechtwinklig auf den magnetischen Meridian zu stehen kommt, so wird bei dieser Operation durch den Erdmagnetismus in den Kreisring ein Strom mit einer elektromotorischen Kraft inducirt, welche dem horizontalen Theil des Erdmagnetismus und dem Flächenraum proportional ist, welchen der Kreisring einschliesst.

Als Einheit der elektromotorischen Kraft wollen wir nun diejenige annehmen, mit welcher der Erdmagnetismus in Folge der bezeichneten Drehung des Kreisringes einen Strom induciren würde, wenn der Werth des horizontalen Theils des Erdmagnetismus nach absolutem Maass gemessen gleich 1 wäre und wenn der von dem Kreisring eingeschlossene Flächenraum 1 Quadratmillimeter betrüge.

Ist nun aber der horizontale Theil des Erdmagnetismus nach absolutem Maass gemessen gleich T und ist der Radius des Kreisringes gleich r^{mm}, also der von ihm eingeschlossene Flächenraum gleich πr^2 Quadratmillimeter, so ist also, nach der oben definirten Einheit gemessen, die elektromotorische Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus in Folge der bezeichneten Drehung einen Strom in dem Kreisring inducirt,

$$e = \pi r^2 T.$$

Wird die bezeichnete Drehung nicht in 1, sondern in ∂ Secunden ausgeführt, so ist die dadurch in Thätigkeit gesetzte elektromotorische Kraft

$$e' = \frac{\pi r^2}{\partial} T.$$

Die elektromotorische Kraft, welche unter den bezeichneten Umständen einen Strom erzeugt, wird aber nach absolutem Maass gemessen

$$E = \frac{\Sigma}{\partial} T$$

wenn an die Stelle des einzelnen Kreisringes eine Inductionsspirale (Inductionsrolle, Erdinductor) tritt und man mit Σ die Summe aller Flächenräume setzt, welche von den einzelnen Windungen der Spirale eingeschlossen werden.

Weber wandte zu seinen Widerstandsbestimmungen einen Erdinductor an, dessen Windungen auf einen sechseckigen Rahmen, ungefähr von der in Fig. 522 dargestellten Form aufgewickelt waren. Der Umfang der innersten Drahtlage betrug 3067, der der äussersten 3170 Millimeter. Der übersponnene Kupferdraht, welcher sammt Wolle 16533 Gramm wog, bildet 145 Windungen in sieben Lagen. Die Summe der von den einzelnen Windungen umschlossenen Flächenräume war nach Weber's Bestimmung

$$\Sigma = 104\,924\,000 \text{ Quadratmillimeter.}$$

In Fig. 523 stelle nun der verkürzt gezeichnete Kreis A schematisch einen um seine verticale Axe drehbaren Erdinductor dar, dessen Windungen sich vorerst noch in der Ebene des magnetischen Meridians be-

Fig. 522.

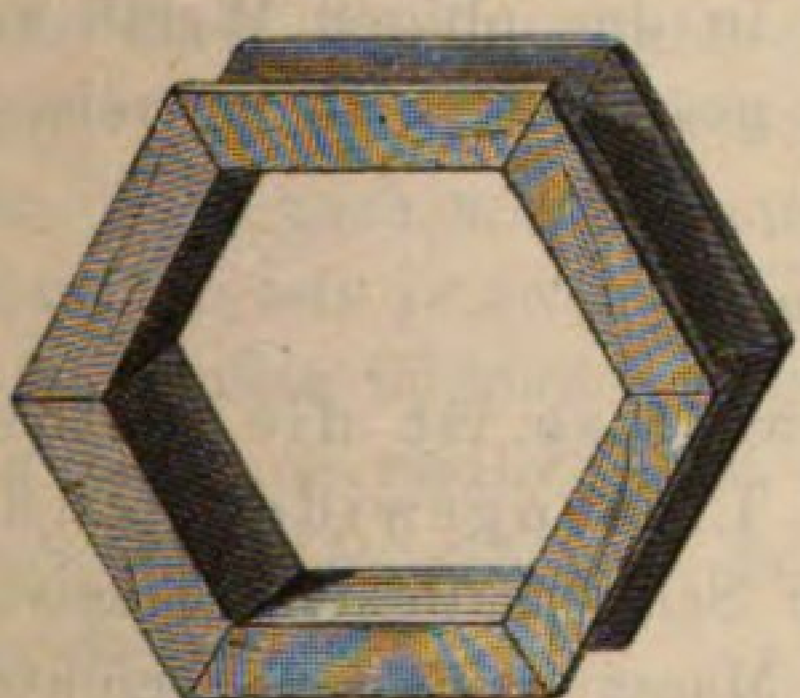
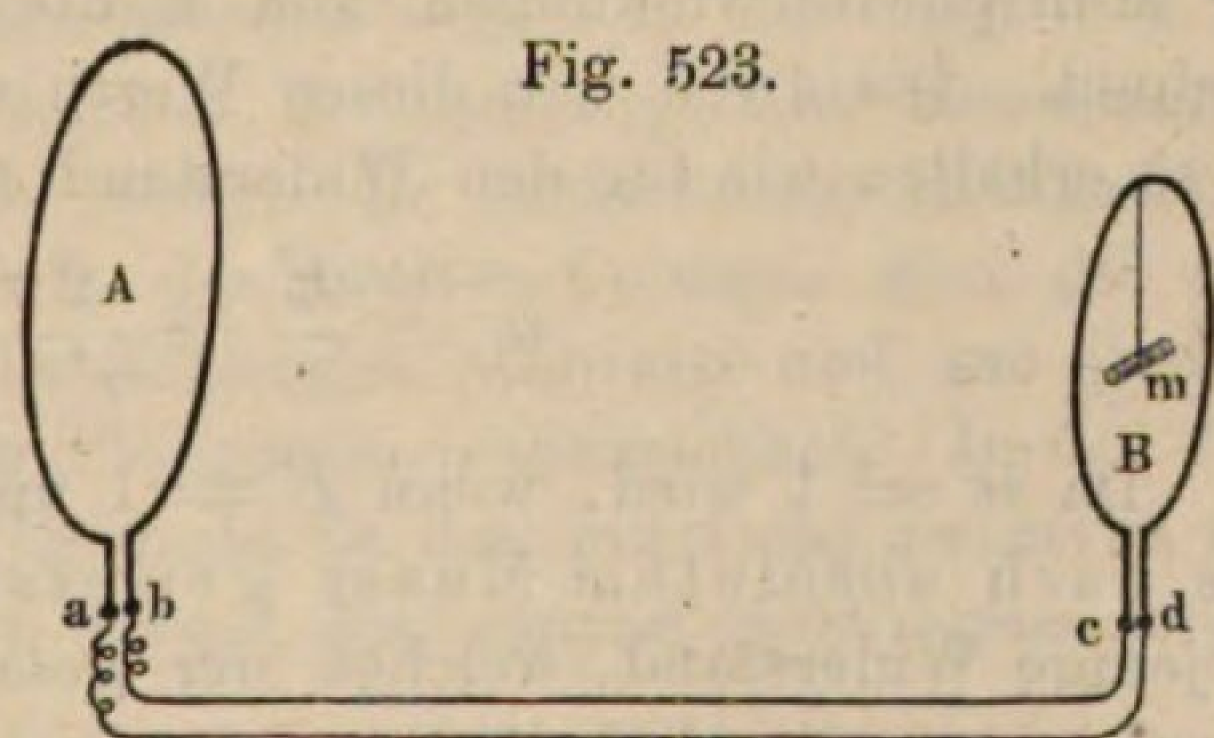


Fig. 523.



finden und dessen Drahtenden a und b leitend mit den Drahtenden c und d eines Multiplicators verbunden sind, welcher in unserer Figur gleichfalls nur schematisch durch den verkürzt gezeichneten Kreis B dargestellt ist, und dessen Windungen ebenfalls in der Ebene des magnetischen Meridians liegen.

Für die in Rede stehenden Untersuchungen muss der Multiplicator gleichfalls von colossalen Dimensionen sein. Der Weber'sche bestand aus 1854 Windungen, welche 28 Lagen bildeten. Der Radius der innersten Lage betrug 303, der der äussersten betrug 374 Millimeter. Das Gesammtgewicht des zu diesem Multiplicator verwendeten Kupferdrahtes sammt Wolle betrug 157 Kilogramm.

In der Mitte dieser Windungen hing eine Messinghülse, in welcher ein 6 Centimeter langer, 6,2 Millimeter dicker Magnetstab steckte und welcher nach Art der Magnetometer mit einem Planspiegel von 30^{mm}

Durchmesser versehen war. So oft nun durch eine Drehung des Inductors A ein Strom inducirt wurde, durchlief derselbe die Windungen des Inductors und die des Multiplicators, da aber letzterer hinlänglich weit von dem ersteren aufgestellt war, so konnte nur der Strom im Multiplicator B ablenkend auf die Magnetnadel m wirken, deren Ablenkung ein Maass für die Stromstärke abgiebt.

Hätte man es mit einem beständigen Strome zu thun, welcher der Nadel eine gleichbleibende Ablenkung u ertheilt, so könnte man aus derselben nach Gl. 7) auf S. 456 die in absolutem Maasse ausgedrückte Stromstärke s berechnen. Nun haben wir es aber nicht mit einem gleichbleibenden Strome zu thun, sondern mit einem solchen, welcher nur während der kurzen Zeit ∂ auf die Nadel wirkend ihr einen Impuls giebt, vermöge dessen sie um den Winkel v aus ihrer Gleichgewichtslage herausgeworfen wird, um dann nach derselben zurückzukehren und auf der anderen Seite nahe ebensoweit auszuschlagen (vorausgesetzt, dass den Schwingungen der Nadel keine Dämpfung entgegenwirkt). Aus diesem Ablenkungswinkel v ergiebt sich dann der Werth der Stromstärke

$$s = \frac{T \,.\, r' \,.\, t \,.\, tang\, v}{2\pi^2 \,.\, n \,.\, \partial}$$

wenn t die Schwingungsdauer des Magnetstabes, r' den mittleren Radius der Multiplicatorwindungen und n die Anzahl dieser Windungen bezeichnet. Dividiren wir diesen Werth von s in den obigen Werth von E, so erhalten wir für den Widerstand w des gesammten Stromkreises:

$$w = \frac{E}{s} = \frac{2\pi^2 \,.\, \Sigma \,.\, n}{r' \,.\, t \,.\, tang\, v} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 1)$$

Da $w = 1$ wird, wenn $E = 1$ und $s = 1$, so ist die Einheit des nach absolutem Maass gemessenen Leitungswiderstandes derjenige Widerstand, welchen der gesammte Schliessungsbogen leisten müsste, wenn die Einheit der nach absolutem Maass gemessenen elektromotorischen Kraft die nach absolutem Maass gemessene Stromstärke 1 hervorbringen sollte.

Bei der fraglichen Versuchsreihe Weber's war, wie wir bereits gesehen haben,

$$\Sigma = 104\,924\,000 \quad \text{und} \quad n = 1854.$$

Ferner haben wir zu setzen

$$r' = 338 \quad \text{und} \quad t = 10{,}282.$$

Es bleibt uns nur noch übrig, die Bestimmung von v zu besprechen. Der Werth von v ergiebt sich, wenn man zuerst beobachtet, welcher Theilstrich der Scala am verticalen Faden des Fadenkreuzes im Fernrohre erscheint, wenn der Magnetstab sich in seiner Ruhelage befindet, alsdann rasch den Inductor um 90° dreht und den Theilstrich beobachtet, welcher am Fadenkreuz erscheint, wenn der Magnetstab seine äusserste Grenzlage erreicht hat und zurückzuschwingen beginnt.

Da aber eine einzige Beobachtung dieser Art nicht die nöthige Genauigkeit bietet, so hat Weber das folgende Verfahren in Anwendung gebracht, welches er als Zurückwerfungsmethode bezeichnet. Dadurch dass der Inductor aus seiner ursprünglichen Lage plötzlich um 90° gedreht wurde, wurde die Nadel in Schwingung versetzt und es wurde mit dem Fernrohre der Stand der Nadel bei ihrer grössten positiven Elongation, welche sie nach $^1/_2$ Schwingungsdauer erreichte, an der Scala beobachtet. Nach Verlauf von $1^1/_2$ Schwingungsdauer gelangte die Nadel zu ihrer grössten negativen Elongation, welche ebenfalls an der Scala beobachtet wurde. Hierauf wurde in dem Augenblick, wo die wieder vorwärts schwingende Nadel ihren ursprünglichen Ruhestand passirte, also 2 Schwingungsdauern nach Beginn der Versuche, der Inductor um 180° rückwärts gedreht. Die schwingende Nadel wurde dadurch mitten in ihrer Bewegung arretirt und rückwärts geworfen, worauf nun wieder zuerst ihre grösste negative und sodann ihre grösste positive Elongation an der Scala beobachtet wurde. Nach Verlauf von 4 Schwingungsdauern, in dem Augenblick, wo die Nadel, von ihrer letzten positiven Elongation zurückkehrend, ihren ursprünglichen Ruhestand passirte, wurde der Inductor wieder um 180° vorwärts bewegt, worauf die nämlichen Elongationsbeobachtungen gemacht wurden, wie das erste Mal. Auf diese Weise wurden die Versuche fortgesetzt, bis eine hinreichende Beobachtungsreihe erhalten worden war. In der folgenden Tabelle sind die Resultate einer solchen Beobachtungsreihe zusammengestellt. In der ersten Verticalreihe stehen die beobachteten Elongationen der Reihe nach unter einander. In der zweiten Columne sind die Mittelwerthe aus je zwei auf einander folgenden positiven und aus je zwei auf einander folgenden negativen Elongationen verzeichnet. In der dritten Columne endlich sind die Unterschiede der mittleren positiven und negativen Elongationen oder die Grösse der ganzen Schwingungsbogen angegeben.

467,1		
540,7	543,70	
546,7		80,10
461,4	463,60	
465,8		79,75
540,6	543,35	
546,1		79,25
462,3	464,10	
465,9		79,45
541,4	543,55	
545,7		
u. s. w.	u. s. w.	u. s. w.

Der Mittelwerth für den ganzen Schwingungsbogen aus mehreren solchen Beobachtungsreihen war

79,8 Scalentheile,

die durch eine Drehung des Inductors um 90^0 bewirkte Elongation beträgt also

39,9 Scalentheile

und danach ergiebt sich

$$tang\, v = \frac{39{,}9}{2\,.\,4088} = 0{,}00488$$

da der Horizontalabstand des Spiegels von der Scala 4088 Millimeter betrug.

Setzen wir nun für π, Σ, n, r', t und $tang\, v$ ihre Zahlenwerthe in Gleichung 1 auf Seite 564, so kommt

$$w = \frac{2\,.\,3{,}1415^2\,.\,104\,924\,000\,.\,1854}{338\,.\,10{,}282\,.\,0{,}00488} = 215\,100\,000\,000$$

oder

$$w = 2151\,.\,10^8.$$

Mit Berücksichtigung aller nothwendigen Correctionen fand Weber

$$w = 2166\,.\,10^8$$

d. h. nach absolutem Maass gemessen war der Gesammtwiderstand des Erdinductors A, des Multiplicators B sammt den beiden Verbindungsdrähten gleich $2166\,.\,10^8$. Um die Einheit zu bezeichnen, auf welche diese Zahl zu beziehen ist, wird dieselbe mit dem Beisatz $\frac{\text{Millimeter}}{\text{Secunde}}$ versehen.

Nachdem einmal der Widerstand des Erdinductors sammt Multiplicator und Verbindungsdrähten nach absolutem Maass bestimmt war, konnte nun auch der Widerstand jedes beliebigen Drahtes, z. B. der eines Jacobi'schen Etalons, nach derselben Einheit gemessen werden. Man hatte zu diesem Zweck zwischen Inductor und Multiplicator nur noch den Etalon einzuschalten und dann die Versuche in obiger Weise zu wiederholen. Man wird jetzt kleinere Ausschläge erhalten als vorher; aus der Combination dieser Beobachtungen mit den vorherigen ergab sich der Leitungswiderstand des Jacobi'schen Etalons nach absolutem Maass gleich

$$598\,.\,10^7\,\frac{\text{Millimeter}}{\text{Secunde}}.$$

Die Einheit dieses Widerstandes ist eine so kleine Grösse, dass auf dieselbe bezogen der Leitungswiderstand eines 1 Millimeter langen Stückes des Jacobi'schen Etalons noch ungefähr gleich 800 000 ist.

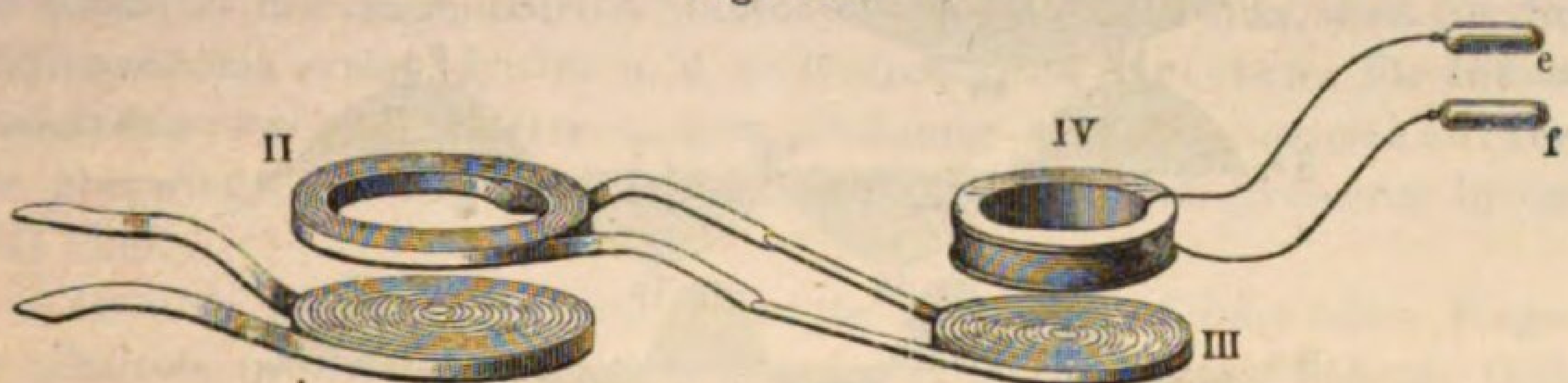
Wegen der ausserordentlichen Kleinheit dieser Einheit hat die

British Association, welche im Uebrigen das Weber'sche System adoptirt, als Einheit ihres Widerstandsmaasses den zehntausendmillionfachen (10^{10}fachen) Werth der Weber'schen Einheit adoptirt und bezeichnet die Einheit mit dem Namen Ohmad (zu Ehren Ohm's) oder British-Association-Einheit. Nach dieser British-Association-Einheit wäre demnach der Widerstand des Jacobi'schen Etalons gleich 0,598.

Die auf Seite 251 gegebene Zusammenstellung der verschiedenen Widerstandseinheiten ist einer grösseren Tabelle von Jenkin (Poggend. Ann. Bd. CXXVI.) entnommen. Dort ist als Weber'sche Einheit $\frac{\text{Meter}}{\text{Secunde}}$ anstatt $\frac{\text{Millimeter}}{\text{Secunde}}$, also ein 1000mal grösserer Werth angenommen, als der in diesem Paragraphen besprochene. Nach den Weber'schen Messungen müsste die letzte Zahl der ersten Verticalreihe 0,598 anstatt 0,6925 stehen. Ich weiss nicht, woher die abweichende Angabe von Jenkin rührt.

Inductionsströme höherer Ordnung. Henry hat nachgewiesen, dass ein Inductionsstrom im Stande ist, wieder inducirend auf eine geschlossene Spirale zu wirken. Der primäre Strom ging durch die 90 Fuss lange Bandspirale I (Fig. 524); über dieser befand sich die 60- 185

Fig. 524.



füssige Bandspirale II; die Enden von II waren mit denen einer dritten Bandspirale III verbunden, welche gleichfalls aus einem 60 Fuss langen, aber nur $^3/_4$ Zoll breiten Kupferstreifen gemacht war; da die Spirale III den Schliessungsbogen von II bildet, so muss in III der Strom circuliren, welcher in II durch den Einfluss der Stromunterbrechung in I inducirt wird. Der Strom in III konnte nun inducirend auf die Drahtrolle IV (aus 1660 Ellen eines $^1/_{49}$ Zoll dicken Drahtes gebildet) wirken. In der That bekam man bei Anfassung der Handhaben *e* und *f* kräftige Schläge.

Aehnliche Resultate wurden auch mit anderen Combinationen von Draht- und Bandrollen erhalten.

Nennt man den Strom in I den primären, so ist der in II und III der secundäre, der in IV endlich der tertiäre, oder es ist der Strom in IV ein inducirter Strom zweiter Ordnung, der in II und III ein inducirter Strom erster Ordnung.

Henry hat in gleicher Weise auch die Existenz von Inductionsströmen dritter und vierter Ordnung nachgewiesen.

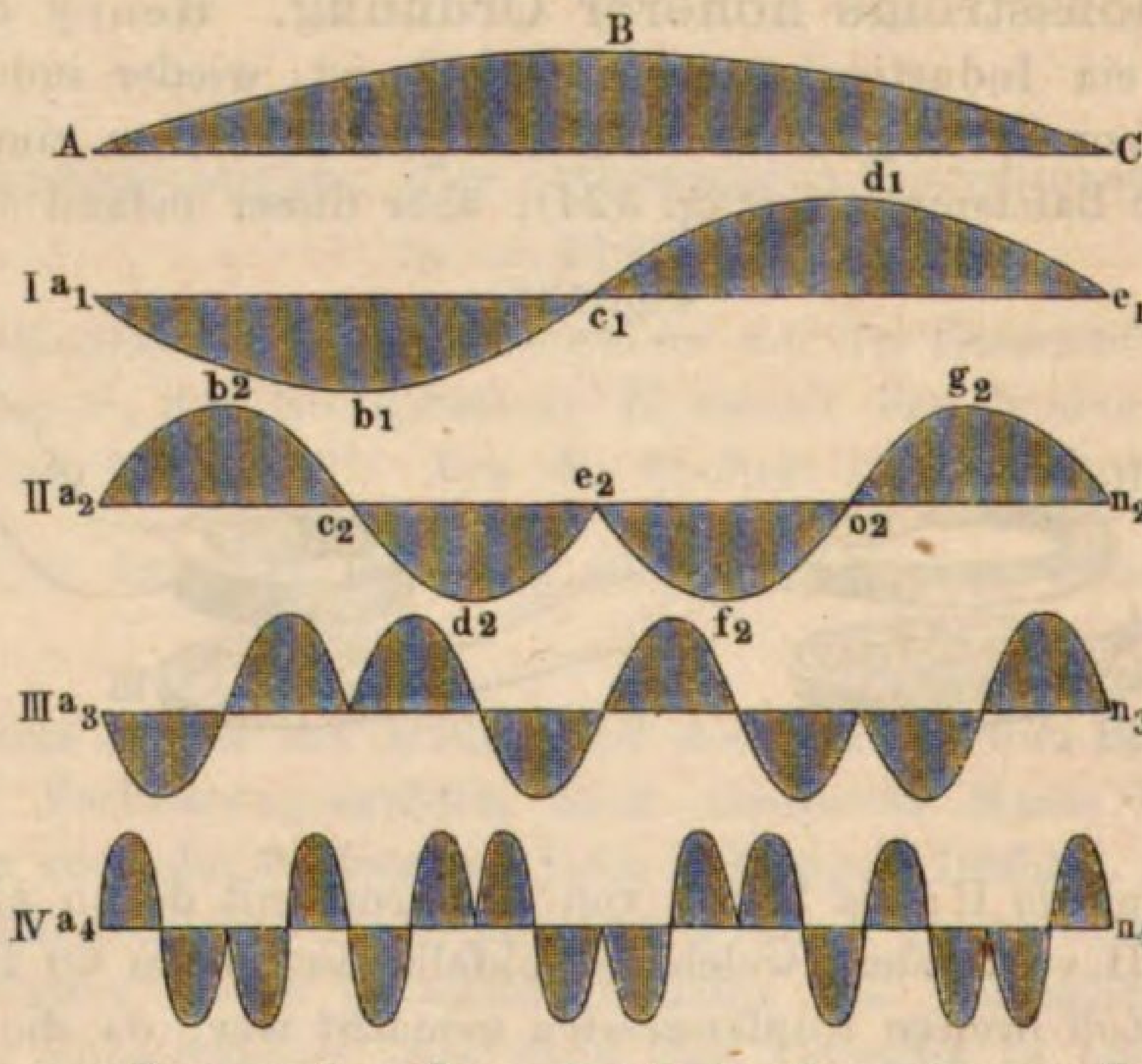
Henry fand auch, dass zwischen zwei flachen Spiralen wie I und II, welche einander parallel gehalten sind, noch auf ziemlich bedeutende Entfernung hin eine inducirende Wirkung stattfindet.

Es ist leicht, den Verlauf der Ströme höherer Ordnung zu verfolgen, wenn man die Bildung von Extraströmen in den verschiedenen Spiralen unberücksichtigt lässt. In Fig. 525 stelle die Curve ABC den Verlauf des Hauptstroms während der kurzen Dauer einer einzelnen Schliessung durch das Rheotom dar.

Während seines Entstehens inducirt der Hauptstrom einen entgegengesetzt gerichteten Strom erster Ordnung, dessen Verlauf durch die Curve $a_1 b_1 c_1$ dargestellt ist, während der verschwindende Hauptstrom BC einen gleichgerichteten Strom $c_1 d_1 e_1$ im Nebendraht inducirt.

Die beiden Ströme $a_1 b_1 c_1$ und $c_1 d_1 e_1$ wirken aber ihrerseits wieder inducirend auf einen Draht zweiter Ordnung; der erstere inducirt die

Fig. 525.



beiden Ströme $a_2 b_2 c_2$ und $c_2 d_2 e_2$, der Inductionsstrom $c_1 d_1 e_1$ aber inducirt die beiden Ströme zweiter Ordnung $e_2 f_2 o_2$ und $o_2 g_2 n_2$. In gleicher Weise fortschliessend ergeben sich für die Inductionsströme dritter und vierter Ordnung die Curven bei III und bei IV. Der kurz andauernde Hauptstrom ABC inducirt also 2 Ströme erster Ordnung, $4 = 2^2$ Ströme zweiter, $8 = 2^3$ Ströme dritter und endlich 2^n Ströme nter Ordnung.

In Folge ihrer kurzen Zeitdauer sind die Inductionsströme höherer Ordnung von grosser elektromotorischer Kraft und geben durch den menschlichen Körper geleitet heftige Schläge.

Für die Inductionsströme höherer Ordnung gilt ebenso wie für die der ersten Ordnung das Gesetz, dass der Quantität nach die directen

(mit dem Hauptstrom gleichgerichteten) und die umgekehrten (die dem Hauptstrom entgegengesetzt gerichteten) Inductionsströme einander ganz gleich sind, weshalb denn auch an keiner der Polplatten ein Kupferniederschlag sich bildet, wenn man in den Schliessungsbogen einer Inductionsspirale höherer Ordnung ein Voltameter einschaltet, welches mit einer Lösung von Kupfervitriol gefüllt ist.

Dagegen ist die Intensität der directen und umgekehrten Inductionsströme höherer Ordnung durchaus nicht gleich, wie es nach Fig. 525 den Anschein haben könnte, bei deren Construction der Einfluss der nie fehlenden Extraströme ganz unberücksichtigt geblieben ist. Ob jedoch für irgend eine höhere Ordnung der Inductionsströme die directen oder die umgekehrten von grösserer elektromotorischer Kraft sein werden, lässt sich nicht wohl auf theoretischem, wohl aber auf experimentellem Wege ermitteln.

Henry liess die Inductionsströme verschiedener Ordnung durch eine kleine Drahtspirale gehen, in welche er eine Stahlnadel einlegte. Diese Stahlnadel wurde nun durch die Inductionsströme magnetisirt.

Da nun aber die directen und umgekehrten Ströme in Betreff der Quantität der Elektricität gleich sind, so kann die Magnetisirung der Nadeln nur daher rühren, dass bei gleicher elektrischer Quantität die intensiveren Ströme kräftiger magnetisirend wirken, wahrscheinlich weil durch sie die Coërcitivkraft des Stahles leichter überwunden wird. Aus der Polarität der magnetisirten Stahlnadeln ergiebt sich nun, dass für Inductionsströme erster, dritter u. s. w. Ordnung die directen, für Inductionsströme zweiter, vierter u. s. w. Ordnung aber die umgekehrten von überwiegender magnetisirender Kraft, also auch von grösserer Intensität sind.

Zu dem gleichen Resultat gelangte Masson auf folgendem Wege: Er schaltete in den Schliessungsbogen der Inductionsspirale höherer Ordnung ein Wasser-Voltameter ein, in welchem die Platinplatten durch Wollaston'sche Platinspitzen (s. S. 324) ersetzt waren. Es entwickelte sich Knallgas an jeder der beiden Polspitzen, ein Beweis, dass die Quantität der nach der einen Richtung strömenden Elektricität derjenigen gleich ist, welche den Draht in der entgegengesetzten Richtung durchläuft. Als aber nach Verdet's Vorgang die Leitung an einer Stelle durch eine Luftschicht unterbrochen wurde, welche nur die intensiveren Ströme in Form von Funken übergehen liess, während sie die weniger intensiven zurückhielt, wurde an der einen Elektrode nur Sauerstoffgas, an der anderen nur Wasserstoffgas ausgeschieden. Die auf diese Weise ermittelte Richtung der intensiveren Ströme stimmt ganz mit derjenigen überein, welche sich aus den Versuchen von Henry ergiebt.

Weber's Theorie der Elektrodynamik und der Voltainduction. Weber hat ein allgemeines Gesetz der elektrischen Wirkung in die Ferne aufgestellt, welches sowohl die Elektrostatik 186

wie die Elektrodynamik umfasst, und aus welchem sich das Inductionsgesetz als nothwendige Folge ergiebt. Die vollständige Entwickelung des Zusammenhanges zwischen den genannten elektrischen Fernwirkungen findet sich in den „Abhandlungen der königl. sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften, Leipzig 1846"; kürzer in Poggendorff's Annalen Bd. LXXIII, S. 193. Die Entwickelung der Grundzüge dieser Theorie findet sich in meinem „Bericht über die neuesten Fortschritte in der Physik" S. 664 bis 675. Hier muss ich mich auf einige Andeutungen beschränken.

Betrachten wir zwei Stromelemente A und B, deren Wechselwirkung wir untersuchen wollen, so haben wir in jedem derselben gleiche Mengen positiver und negativer Elektricität, welche sich in entgegengesetzter Richtung bewegen. — Wir haben also in den zwei Stromelementen, die wir betrachten, vier Wechselwirkungen elektrischer Massen, zwei abstossende zwischen den beiden positiven und den beiden negativen Massen in den Stromelementen, und zwei anziehende zwischen der positiven Masse in A und der negativen Masse in B, und ferner zwischen der negativen Masse in A und der positiven in B.

Jene beiden abstossenden Kräfte müssten, wenn die bekannten elektrostatischen Gesetze eine unbedingte Anwendung auf unseren Fall fänden, den beiden anziehenden Kräften gleich sein, weil die gleichartigen sich abstossenden Massen den ungleichartigen sich anziehenden gleich sind und aus gleicher Entfernung auf einander wirken.

Nun aber wirken zwei Stromelemente in der That anziehend oder abstossend auf einander; wenn also irgend ein Zusammenhang zwischen den Grundgesetzen der Elektrostatik und der Elektrodynamik stattfinden soll, so muss man annehmen, dass die gegenseitige Einwirkung elektrischer Massen durch ihren Bewegungszustand modificirt wird. Das statische Gesetz der elektrischen Anziehung und Abstossung bedarf also einer Ergänzung, wenn die Gesetze der Elektrodynamik daraus abgeleitet werden sollen.

Nach dem elektrostatischen Gesetze lässt sich die gegenseitige Einwirkung zweier elektrischer Massen ε und ε', deren gegenseitige Entfernung r ist, ausdrücken durch

$$\frac{\varepsilon\,\varepsilon'}{r^2}$$

und dieser Ausdruck ist positiv zu nehmen (Anziehung), wenn ε und ε' entgegengesetzter Natur, negativ dagegen (Abstossung), wenn sie gleichgerichtet sind. Nach Weber's Theorie ist die gegenseitige Einwirkung zweier elektrischer Theilchen aber nicht allein von ihrer Entfernung, sondern auch von ihrem relativen Bewegungszustande abhängig. Dem obigen Ausdrucke muss noch ein zweites Glied hinzugefügt werden, welches von der relativen Geschwindigkeit v, und ein drittes, welches von der relativen Beschleunigung g abhängig ist. Bei gegenseitiger Annäherung

ist das zweite Glied negativ, das dritte positiv zu nehmen, die Gleichung, durch welche die gegenseitige Einwirkung zweier elektrischen Theilchen ε und ε' auf einander ausgedrückt wird, ist demnach

$$\frac{\varepsilon\varepsilon'}{r^2}(1 - av^2 + bg)\ldots$$

Suchen wir nun aus dem durch diese Formel ausgedrückten Gesetze die gegenseitige Einwirkung zweier Stromelemente in zwei speciellen Fällen abzuleiten.

Zunächst wollen wir den Fall betrachten, wo die Richtung der beiden Stromelemente A und B mit der sie verbindenden Geraden zusammenfällt; die Ströme seien in beiden Elementen gleichgerichtet, wie Fig. 526 andeutet, wo die gefiederten Pfeile die positiven, die ungefiederten die negativen Stromtheilchen andeuten sollen. Die gleichnamigen Stromtheilchen in A und B bleiben in unveränderter Entfernung, für sie ist also v und g gleich Null, die Grösse, mit der die beiden positiven Stromtheilchen sich abstossen, ist also $-\frac{\varepsilon\varepsilon'}{r^2}$. Diesem ganz gleich ist auch die Einwirkung der beiden negativen Stromtheilchen.

Fig. 526.



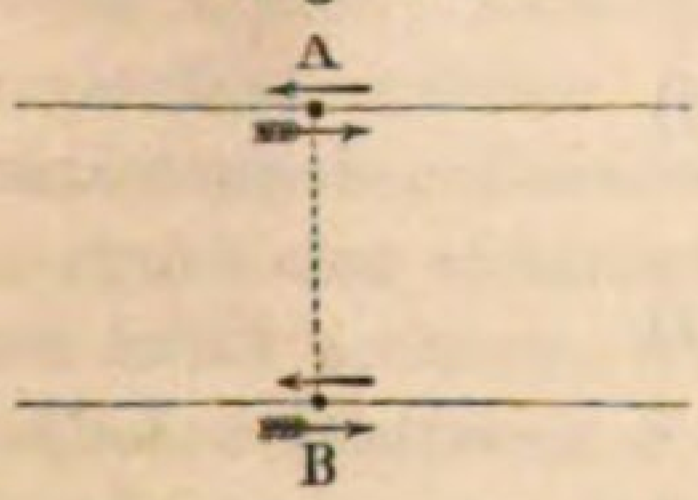
Das positive Stromtheilchen von A nähert sich aber mit gleichförmiger Geschwindigkeit dem negativen in B, mithin ist $g = 0$ und die Einwirkung dieser beiden Theilchen reducirt sich auf $\frac{\varepsilon\varepsilon'}{r^2}(1 - av^2)$. Ebenso gross ist die Kraft, mit welcher das positive Stromtheilchen in B und das negative in A auf einander wirken; die Resultirende der vier einzelnen Kräfte ist also:

$$2\frac{\varepsilon\varepsilon'}{r^2}(1 - av^2) - 2\frac{\varepsilon\varepsilon'}{r^2} = -2\frac{\varepsilon\varepsilon'}{r^2}av^2,$$

d. h. es muss, übereinstimmend mit dem Ampère'schen Gesetz, eine Abstossung zwischen den Stromelementen A und B stattfinden.

Gehen wir zur Betrachtung paralleler, gleichgerichteter Ströme über, Fig. 527. Die gleichnamigen Stromtheilchen bleiben stets in gleicher Entfernung, für sie ist also v und g gleich Null; die Abstossung der beiden positiven Stromtheilchen sowohl wie die der beiden negativen ist also $\frac{\varepsilon\varepsilon'}{r^2}$. Die Stromtheilchen in A nähern oder entfernen sich von den ungleichnamigen in B mit ungleichförmiger Geschwindigkeit, folglich ist g nicht gleich Null; dagegen wird für zwei einander gerade gegenüber liegende ungleichnamige Stromtheilchen in A und B die relative Geschwindigkeit v gleich Null sein, denn vor

Fig. 527.



ihrer Ankunft in diesem Punkte nähern sich die fraglichen Stromtheilchen mit abnehmender, nachdem sie ihn passirt haben, entfernen sie sich mit wachsender relativer Geschwindigkeit; in den Punkten A und B selbst muss also die relative Geschwindigkeit v gleich Null sein. Die Einwirkung eines positiven Stromtheilchens in einem Draht auf das gerade gegenüber liegende negative ist also

$$\frac{\varepsilon\varepsilon'}{r^2}(1 + bg)$$

und die Summe der gegenseitigen Einwirkungen aller vier Stromtheilchen:

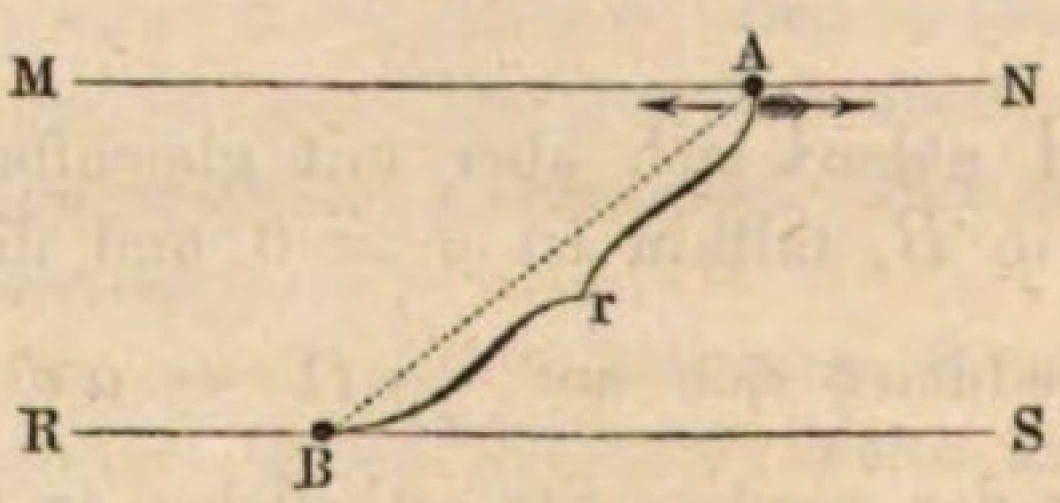
$$2\frac{\varepsilon\varepsilon'}{r^2}(1 + bg) - 2\frac{\varepsilon\varepsilon'}{r^2} = 2\frac{\varepsilon\varepsilon'}{r^2}bg,$$

also eine Anziehung, wie es auch das Ampère'sche Gesetz verlangt.

187 **Die Volta-Induction** ergiebt sich als nothwendige Folge der Weber'schen Theorie. Wir müssen uns begnügen, dies an einem speciellen, einfachen Fall der Art nach zum Verständniss zu bringen.

In Fig. 528 seien MN und RS zwei parallele Leitungsdrähte; RS sei stromlos, während in MN in einem bestimmten Augenblick ein Strom zu circuliren beginnt. — Sehen wir nun, welche Wirkung die beiden elektrischen Theilchen, welche in diesem Moment von A aus nach entgegengesetzten Seiten auseinander zu fahren beginnen, auf das Theilchen B des anderen Drahtes ausüben. Die relative Geschwindigkeit der elektrischen Partikelchen in A und B ist für den Moment, wo der Strom beginnt, gleich Null, dagegen beginnt die Bewegung mit einer bestimmten Beschleunigung. Bezeichnen wir mit g die relative Beschleunigung des positiven Stromtheilchens in A gegen B, so ist sie für das negative gleich $-g$, und wir erhalten folgende Wechselwirkungen zwischen den elektrischen Theilchen in A und B, wenn wir die positive Elektricität in A und B mit $+e$ und $+e'$, die negative mit $-e$ und $-e'$ bezeichnen:

Fig. 528.



$$+e \text{ auf } +e' \quad -\frac{ee'}{r^2}(1 + bg)$$

$$+e \text{ auf } -e' \quad +\frac{ee'}{r^2}(1 + bg)$$

$$-e \text{ auf } -e' \quad -\frac{ee'}{r^2}(1 - bg)$$

$$-e \text{ auf } +e' \quad +\frac{ee'}{r^2}(1 - bg).$$

Die Summe dieser vier Wechselwirkungen ist Null, es findet also keine elektrodynamische Wirkung zwischen den beiden Leitungsdrähten Statt. Dagegen ist die Summe der Wirkungen, welche auf $+ e'$ ausgeübt werden, gleich

$$- 2 \frac{ee'}{r^2} bg;$$

die Summe der auf $- e'$ wirkenden Kräfte aber ist gleich

$$+ 2 \frac{ee'}{g^2} bg;$$

auf die positive und negative Elektricität in B wirken also ungleiche Kräfte, und die Kraft, welche sie in der Richtung von r zu trennen strebt, ist die Differenz dieser Kräfte.

Die Kraft, welche die entgegengesetzten Elektricitäten nach der Richtung der Linie r zu trennen strebt, haben wir nun nach der Richtung RS zu zerlegen, um die elektromotorische Kraft zu erhalten, mit welcher der in MN entstehende Strom einen Strom in RS zu induciren strebt. Wie man sieht, wird beim Entstehen eines Stromes in MN jede Elektricität im Draht RS nach einer Richtung fortgetrieben, welche der entgegengesetzt ist, mit welcher sich die gleichnamige Elektricität in MN bewegt.

Diamagnetismus. Nachdem Faraday die galvanische Induction 188
entdeckt hatte, sprach er alsbald die Ansicht aus, dass der Strom im Hauptdrahte doch höchst wahrscheinlich fortdauernd auf den Nebendraht wirke, dass er ihn in einen eigenthümlichen Zustand versetze, den er mit dem Namen des elektrotonischen Zustandes bezeichnete. Den beim Schliessen des Hauptstromes im Nebendrahte inducirten Strom betrachtete Faraday als den Ausdruck des Ueberganges vom gewöhnlichen Zustande des Nebendrahtes in den elektrotonischen, während sich die Rückkehr aus dem veränderten Zustande in den gewöhnlichen als Oeffnungsschlag kundgiebt.

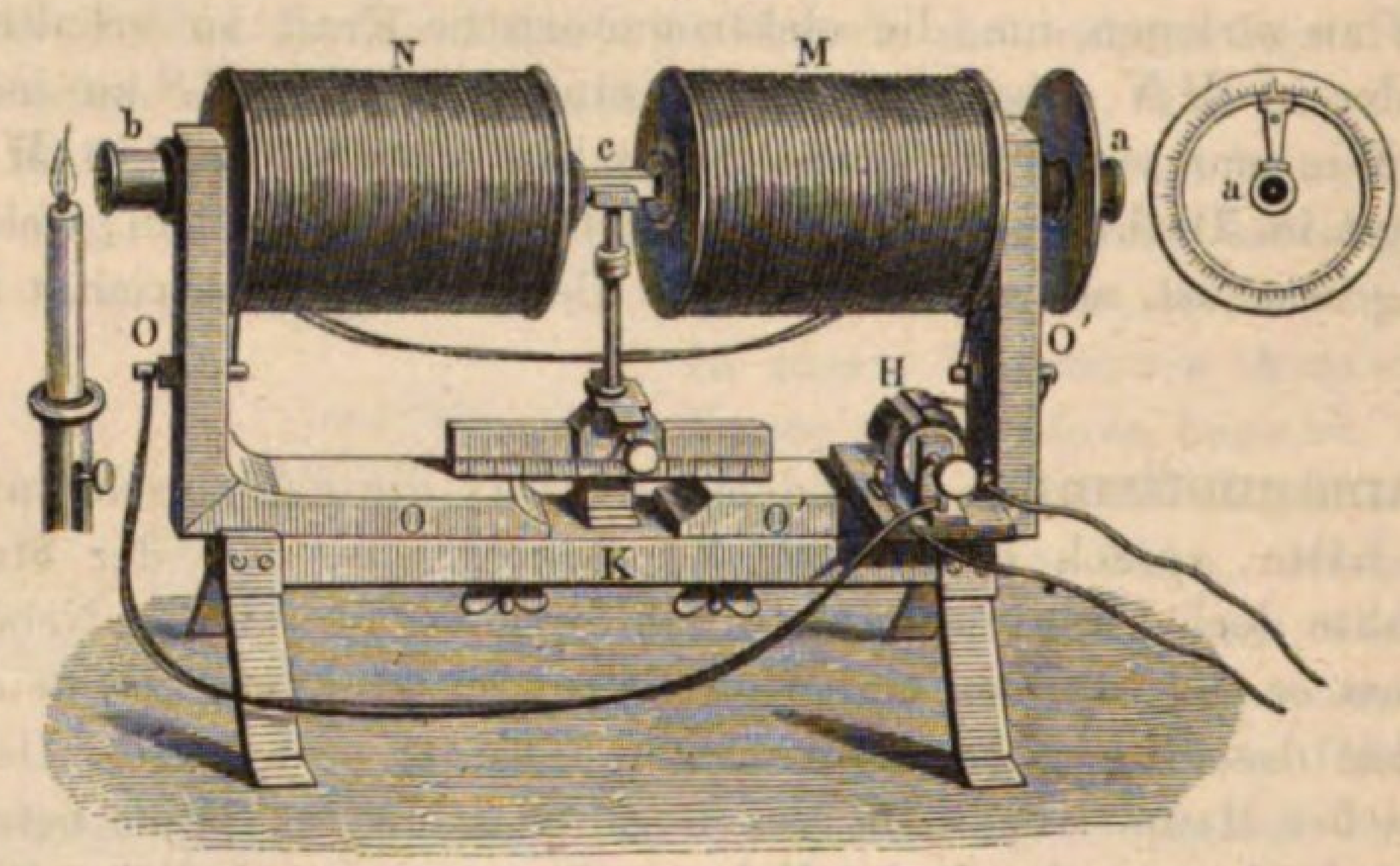
Nicht allein auf einen geschlossenen Draht, sondern überhaupt auf alle, selbst auf nichtleitende Körper, sollte nun nach Faraday's Ansicht eine solche Wirkung ausgeübt werden. In einigen Körpern, in Eisen, Nickel u. s. w., wird durch den Einfluss des Stromes ein Zustand hervorgerufen, welchen wir als den magnetischen kennen. Von dem elektrotonischen Zustande, in welchen des Magnetismus nicht fähige Körper durch den elektrischen Strom versetzt werden, hatte man bis dahin noch keine positiven Wahrnehmungen gemacht, bis es endlich dem unermüdlichen Bestreben Faraday's gelang, durch optische Mittel wirklich eine Veränderung des Molekularzustandes verschiedener Körper durch magnetisirende Einflüsse darzuthun, worauf denn alsbald die Entdeckung folgte, dass die Pole eines kräftigen Magnets auf alle nicht magnetischen Körper eine abstossende Wirkung ausüben.

Im Gegensatz zu den magnetischen Erscheinungen bezeichnet Faraday die eben angedeuteten als diamagnetische. Ein Diamagneticum oder ein diamagnetischer Körper wird nach ihm jeder genannt, auf welchen ein Magnet in anderer Weise wirkt als auf Eisen.

189 **Drehung der Polarisationsebene durch magnetisirende Kräfte.** Als Faraday zwischen die Pole eines kräftigen Elektromagnets ein ungefähr 2 Zoll langes Stück von kieselborsaurem Bleioxyd (welches er auch kurz nur schweres Glas nennt) brachte, fand er, dass die Polarisationsebene eines durch dieses Glasstück hindurchgesandten linear-polarisirten Lichtstrahls durch den Einfluss der Magnetpole eine Drehung erlitten hatte.

Zur Anstellung dieses Versuchs ist die von Ruhmkorff herrührende Form des Elektromagnets besonders geeignet, welche in Fig. 529

Fig. 529.



dargestellt ist. Zwei geradlinige Elektromagnete M und N sind horizontal in solcher Stellung angebracht, dass die Axe des einen in der Verlängerung der Axe des anderen liegt; sie sind an den eisernen Trägern O und O' befestigt, die auf der eisernen Schiene K verschiebbar sind, so dass man nach Belieben die beiden Elektromagnete einander nähern oder von einander entfernen kann. Die Axen der Eisenkerne der Elektromagnete M und N sind der Länge nach durchbohrt, so dass man frei hindurchsehen kann. Am einen Ende dieses Canals ist das Nicol'sche Prisma b befestigt, am anderen Ende aber ist das Nicol a so angebracht, dass es um seine Axe gedreht und diese Drehung an einem getheilten Kreise abgelesen werden kann.

Die Windungen der beiden Elektromagnete sind so geführt, dass, wenn ein Strom sie durchläuft, der eine der beiden einander zugekehrten Pole ein Nordpol, der andere ein Südpol wird, dass also ein bei c angebrachter durchsichtiger Körper sich zwischen zwei ungleichnamigen Polen befindet.

Wenn ein Stäbchen von schwerem Glase bei *c* aufgestellt ist und die beiden inneren Enden der Eisenkerne möglichst dicht an dasselbe herangerückt sind, werden noch vor Schliessung des Stromes die beiden Nicols gekreuzt, so dass das Gesichtsfeld dunkel erscheint, wenn man durch das Nicol *a*, das Glas *c* und das Nicol *b* nach einem hellen Gegenstande, etwa einer Kerzenflamme hinsieht. Sobald man aber nun den Strom durch die Windungen des Elektromagnets hindurchgehen lässt, wird das Gesichtsfeld mehr oder weniger erhellt, und man muss das Nicol *a* um eine Anzahl Grade drehen, damit das Gesichtsfeld wieder dunkel wird; die Polarisationsebene ist also gedreht worden, gerade so als ob *c* ein mit Circularpolarisation begabter Körper wäre. *H* ist ein Commutator, mittelst dessen man den Strom leicht schliessen, öffnen und umkehren kann.

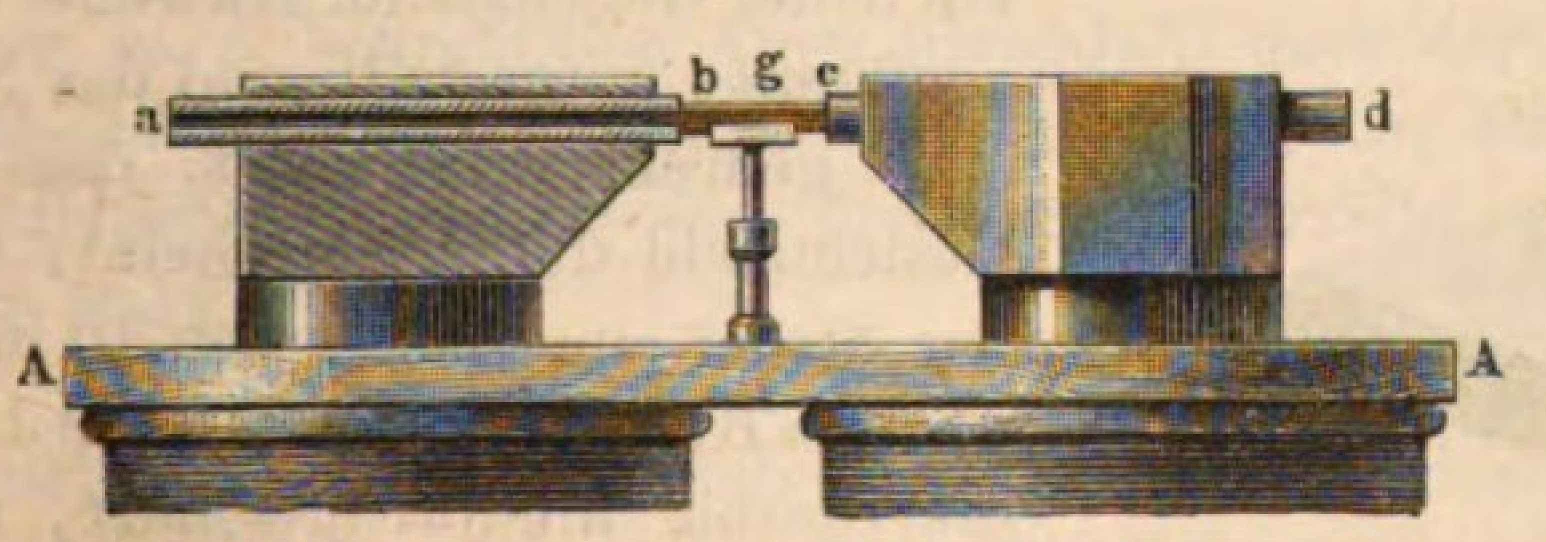
Ist durch die Einwirkung des Elektromagnets das vorher dunkle Gesichtsfeld hell gemacht worden, so wird es alsbald wieder dunkel, wenn man den Strom unterbricht.

Die Richtung, nach welcher die Polarisationsebene in *c* gedreht wird, ist dieselbe, nach welcher der positive Strom in den Windungen der Elektromagnete *M* und *N* kreist.

Auch an anderen durchsichtigen, festen und flüssigen Körpern wurde eine solche Drehung der Polarisationsebene, wenn auch in geringerem Maasse, beobachtet.

Um die Drehung der Polarisationsebene mit Hülfe des Elektromagnets Fig. 338 S. 366 hervorzubringen, sind die bereits auf S. 517 besprochenen Halbanker der Länge nach durchbohrt und in der Höhlung eines jeden steckt ein dickwandiges eisernes Rohr, wie man in Fig. 530 deutlicher sieht, in welcher der eine Halbanker mit dem Rohr *ab* im Durchschnitt dargestellt ist. An dem äusseren Ende *a* des einen eisernen Rohrs ist das eine, am äusseren Ende *d* des eisernen Rohrs *cd* ist das Ocularnicol angebracht. Ausserdem muss bei *d* noch ein getheilter Kreis angebracht sein, welcher in unserer Figur weggelassen ist, auf welchem man die Drehung des Ocularnicols ablesen kann. Ein in der Mitte des Brettes *A* eingeschraubtes Messingsäulchen trägt ein kleines Messingtischlein, auf welches der zu untersuchende durchsichtige Körper *g*, also z. B. ein mit geraden Endflächen versehenes Stäbchen von Faraday'schem Glase aufgelegt wird. Die eisernen Röhren *ab* und *cd* werden in einer solchen Lage festgestellt, dass ihre Endflächen bei *b* und *c* die Endflächen des Körpers *g* gerade berühren.

Fig. 530.



Um kleine Drehungen der Polarisationsebene merklich zu machen,

kann man auch hier die bereits im ersten Bande S. 913 besprochene Doppelte Quarzplatte in Anwendung bringen.

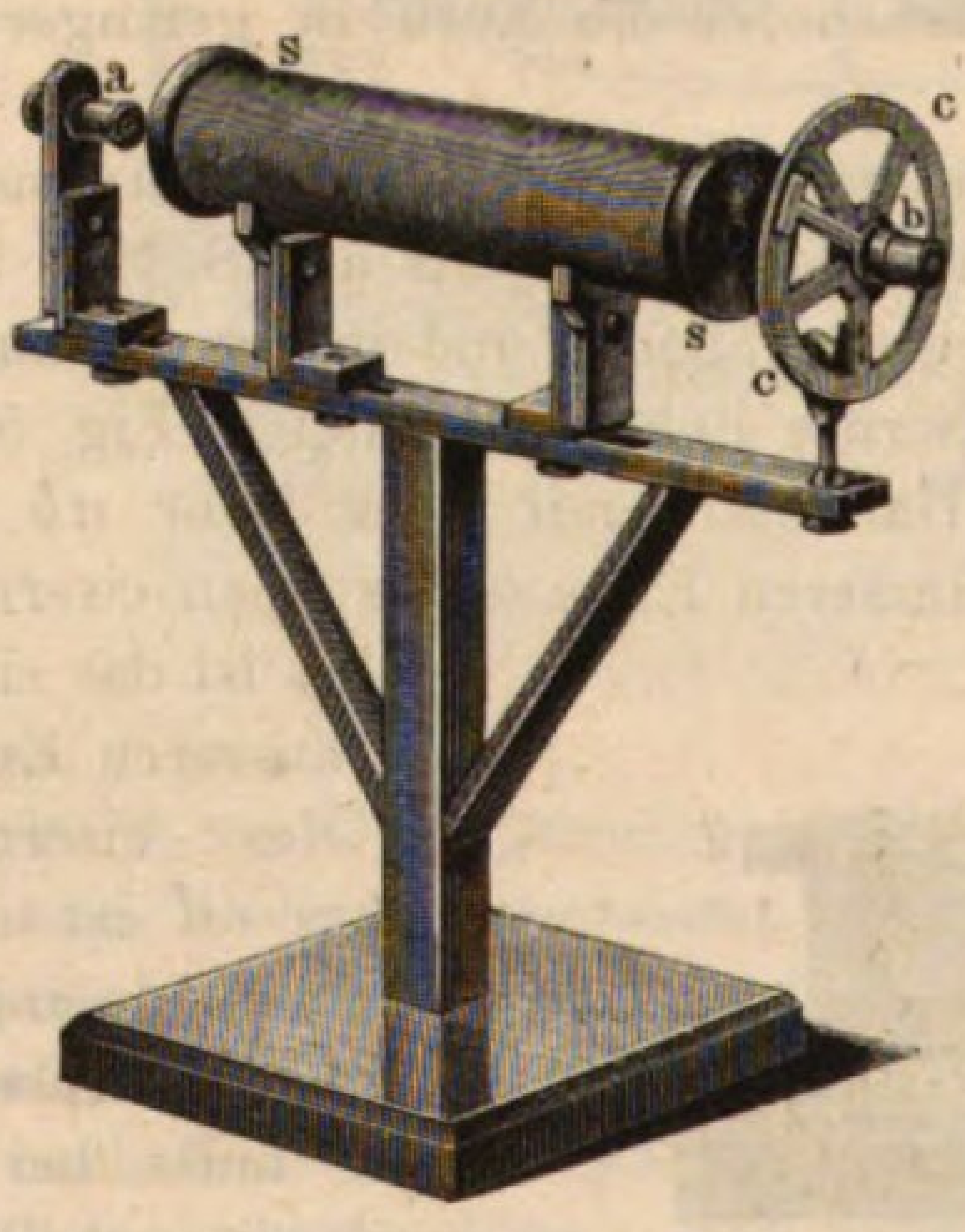
Feste Körper, die man dem Versuche unterwerfen will, werden mit parallelen Flächen versehen, Flüssigkeiten aber zwischen parallelen Wänden von dünnem Glas an die entsprechende Stelle des Apparates gebracht.

In einem Langwürfel von schwerem Glase (kiesel-borsaurem Bleioxyd) von 48 Millimeter Länge betrug die mit dem beschriebenen Apparat hervorgebrachte Drehung der Polarisationsebene (für die Strahlen von mittlerer Brechbarkeit) 16°, und zwar bei Anwendung einer Säule von 40 bis 50 mit starker Säure gefüllten Bunsen'schen Bechern.

Da ein kräftiger Elektromagnet in der eben besprochenen Weise die Polarisationsebene in durchsichtigen Körpern zu drehen im Stande ist, so liess sich erwarten, dass ein elektrischer Strom, in Form eines Schraubendrahtes um die durchsichtigen Körper herumgeleitet, ebenfalls eine Drehung der Polarisationsebene bewirken müsse. Faraday fand dies vollkommen bestätigt.

Man kann zur Anstellung dieses Versuches den bereits auf S. 912 des ersten Bandes beschriebenen Fig. 531 perspectivisch dargestellten Apparat anwenden. Eine Röhre, deren Einrichtung bereits Bd. I, S. 912 beschrieben wurde, wird mit der entsprechenden Flüssigkeit gefüllt, in die Magnetisirungsspirale *s s* eingeschoben und diese dann so auf das Stativ gelegt, dass die Axe der Spirale mit den Axen der beiden Nicols *b* und *b* eine gerade Linie bildet. Nachdem nun hinter dem Nicol *a* ein heller Gegenstand, etwa eine Kerzenflamme, aufgestellt, und das Nicol *b* so gedreht worden ist, dass das Gesichtsfeld dunkel erscheint, wird der Strom einer Säule von 10 bis 12 grossen Bunsen'schen Bechern durch die Spirale hindurchgesendet, worauf denn das Gesichtsfeld wieder mehr oder weniger erhellt erscheint. Um es wieder dunkel zu machen, muss man das Ocularnicol *b* um einen bestimmten Winkel nach der linken oder rechten Seite drehen.

Fig. 531.



Wie sich nach den mit dem Elektromagnet erhaltenen Resultaten erwarten liess, wird die Polarisationsebene des Strahles nach derselben Richtung gedreht, nach welcher der positive Strom in der Spirale circulirt.

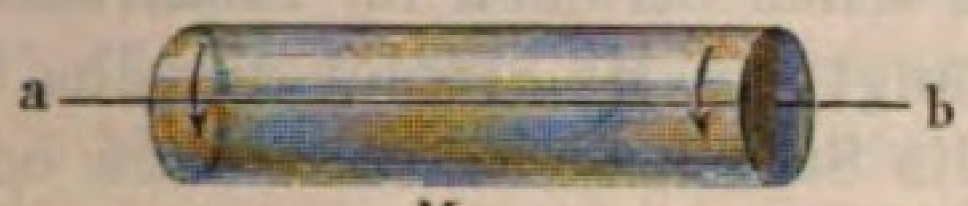
Bringt man Körper, welche schon von Natur ein Drehungsvermögen besitzen, in die Höhlung der Spirale, so addirt oder subtrahirt sich der Effect des elektrischen Stromes zu dem ihrer eigenen Kraft, je nachdem

der Strom die Polarisationsebene nach derselben oder nach der entgegengesetzten Richtung dreht, wie die Flüssigkeit selbst.

Zwischen der Drehung der Polarisationsebene durch den elektrischen Strom und der Drehung derselben in einem Körper, welcher die Eigenschaft der Circularpolarisation besitzt, besteht aber ein wesentlicher Unterschied.

In Fig. 532 stelle der Cylinder M ein durchsichtiges Diamagneticum dar, welches in der Richtung der Pfeile von elektrischen Strömen umkreist wird, so wird auch die Polarisationsebene eines Strahles, welcher M in der Richtung der Axe durchläuft, stets nach der Richtung der Pfeile gedreht.

Fig. 532.



Geht nun der Strahl in der Richtung von a nach b fort, so beobachtet also ein in b befindliches Auge eine Drehung nach der Linken, während, wenn der Strahl sich von b nach a fortpflanzt, ein in a befindliches Auge unter sonst ganz gleichen Umständen eine Drehung nach der Rechten beobachtet. Bei circularpolarisirenden Körpern ist das nicht so. Wäre M ein rechtsdrehender circularpolarisirender Körper, so würde man die Polarisationsebene nach der rechten Seite gedreht finden, möchte man nun von b nach a oder von a nach b schauen.

Dringt ein Lichtstrahl in ein circularpolarisirendes Mittel in der Richtung von b nach a ein, so würde, vorausgesetzt, dass das Mittel ein rechtsdrehendes ist, einem in a befindlichen Auge die Polarisationsebene des einfallenden Strahles nach der rechten Seite, also in der Richtung der Pfeile gedreht erscheinen. Wenn aber nun die Endfläche links belegt ist, so dass der sie treffende Strahl reflectirt wird, so wird der reflectirte Strahl eine solche Drehung der Polarisationsebene erleiden, dass sie einem in b befindlichen Auge gleichfalls nach der rechten Seite gedreht erscheint, für den reflectirten Strahl findet also eine Drehung der Polarisationsebene in einer der Richtung der Pfeile entgegengesetzten Richtung statt.

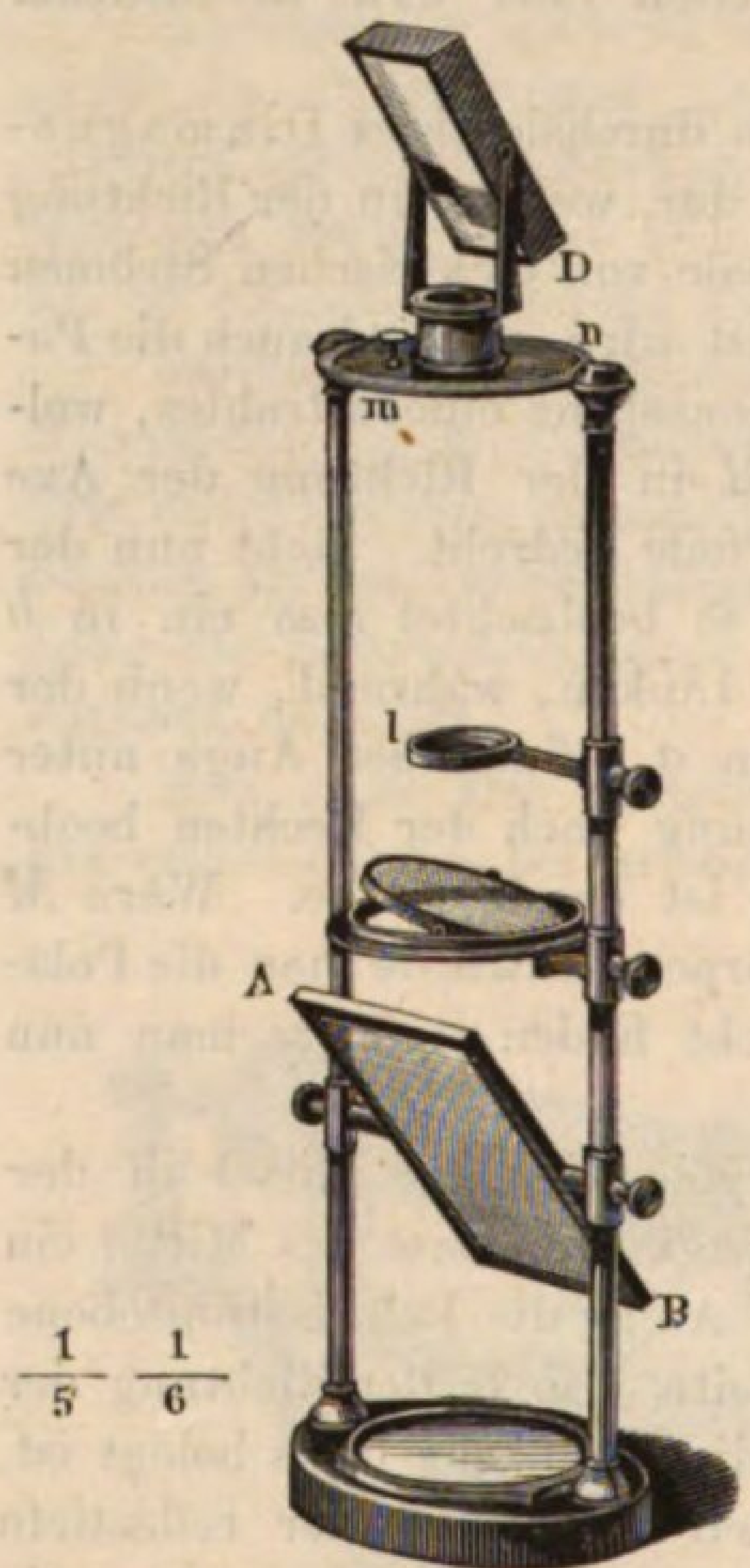
Absolut genommen, ist also die Richtung der Drehung der Polarisationsebene in einem circularpolarisirenden Medium vor und nach der Spiegelung eine entgegengesetzte; die Drehung, welche die Polarisationsebene des Strahles vor seiner Reflexion erlitten hat, wird durch die entgegengesetzte Drehung, die er nach seiner Reflexion erleidet, wieder aufgehoben; das Auge in b wird also gar keine Drehung der Polarisationsebene an dem Strahl beobachten können, welcher den circularpolarisirenden Körper zweimal in entgegengesetzter Richtung durchlaufen hat.

Legt man eine senkrecht zur Axe geschnittene Quarzplatte auf den mittleren Tisch des Nörremberg'schen Polarisationsapparates, so beobachtet man die schon im ersten Bande beschriebenen Erscheinungen der Circularpolarisation; legt man aber die Quarzplatte auf den belegten Spiegel im Fusse des Polarisationsapparates Fig. 533 a. f. S., so tritt der eben

besprochene Fall ein: man beobachtet keine Drehung der Polarisationsebene mehr.

Ganz anders verhält es sich, wenn die Drehung der Polarisationsebene durch den elektrischen Strom oder durch einen Elektromagnet hervorgebracht wird. Da in diesem Falle die Drehung der Polarisationsebene nur von der Richtung des Stromes (oder den Ampère'schen Strömen im Elektromagnet) abhängt, da sie absolut dieselbe ist, mögen die Strahlen nach der einen oder nach der anderen Richtung das Diamagneticum durchlaufen, so findet hier keine Aufhebung der Drehung der Polarisationsebene statt, wenn der Strahl an der Rückwand gespiegelt wieder zurückläuft.

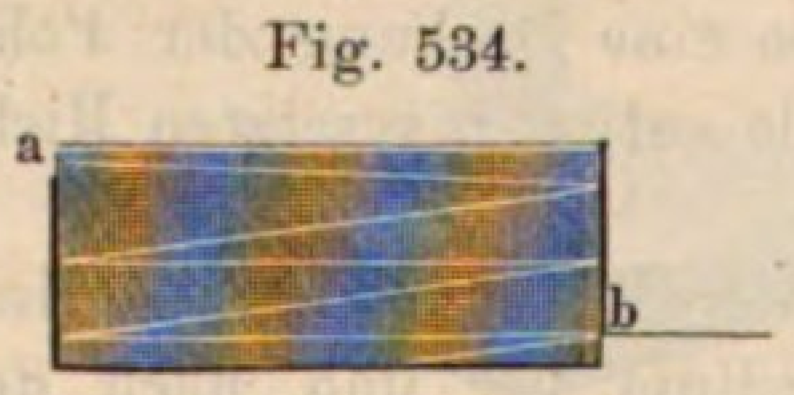
Fig. 533.



Wenn der Körper *M*, Fig. 532, durch elektrische Ströme die Eigenschaft erhalten hat, die Polarisationsebene zu drehen, so wird ein in *b* befindliches Auge die Polarisationsebene des an der anderen Endfläche reflectirten Strahles doppelt so stark gedreht finden, als wenn der Strahl hier ausgetreten und nach *a* gelangt wäre.

Faraday hat dies benutzt, um die Drehung der Polarisationsebene in einem kurzen Stück eines Diamagneticums sehr merklich zu machen.

Fig. 534.



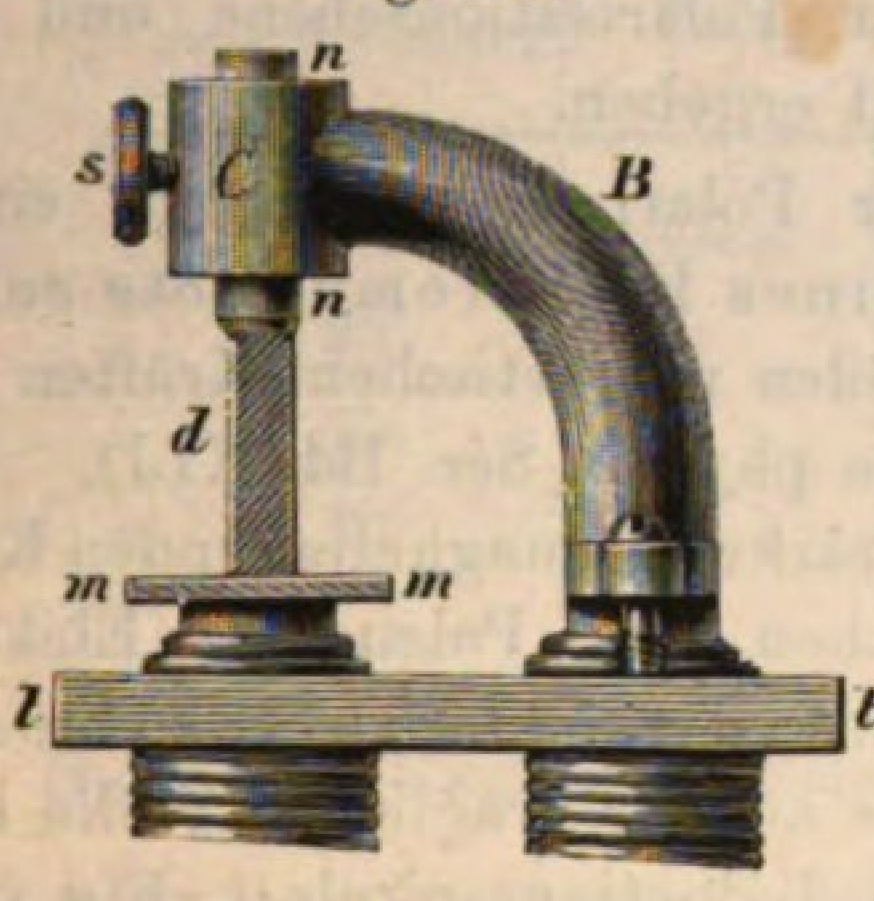
Ein Parallelepiped von schwerem Glase, 2,5 Zoll lang, dessen Querschnitt ein Quadrat von 7 Linien Seite war, wurde an beiden Enden polirt und versilbert. Auf der einen Seite wurde die Belegung bei *a*, auf der anderen Seite wurde sie bei *b* auf etwa 1 Linie Breite weggenommen, so dass ein bei *a* etwas schräg eintretender Strahl, nachdem er den Körper mehrmals hin- und hergehend durchlaufen hatte, bei *b* austreten konnte. Hat der Strahl auf diese Weise 5, 7, 9 u. s. w. mal die ganze Länge des Diamagneticums durchlaufen, so ist die Drehung der Polarisationsebene 5, 7, 9 u. s. w. mal so gross, als wenn er nur einmal gerade durchgegangen wäre.

Bertin hat hiervon Anwendung gemacht, um mit Hülfe des Nörremberg'schen Polarisationsapparats die diamagnetische Drehung der Polarisationsebene zu zeigen. Der belegte horizontale Spiegel des Polarisationsapparates, Fig. 533, wurde auf den einen Pol eines aufrecht ste-

henden Elektromagnets aufgesetzt und dann ein Stück Faraday'schen Glases auf den Spiegel gesetzt. So lange kein Strom durch den Apparat geht, sieht man das Gesichtsfeld dunkel, wenn die Polarisationsebenen des unteren Polarisationsspiegels und des Zerlegers gekreuzt sind; so wie aber der Strom durch die Drahtwindungen geht, erscheint die Platte hell, und man muss den Zerleger nach der rechten Seite drehen, wenn der Polarisationsapparat auf einem Südpol steht, nach der linken im entgegengesetzten Falle, um wieder ein Minimum von Lichtstärke zu erhalten. Für eine 18^{mm} dicke Platte Faraday'schen Glases betrug diese Drehung 10^0, für eine 48^{mm} dicke betrug sie 21^0.

Mit einem solchen Elektromagnet, wie er in Fig. 336 S. 365 abgebildet ist, dessen Eisen 35^{mm} Durchmesser hatte, erhielt ich nach der Bertin'schen Methode nur höchst unbedeutende Wirkungen. Um sie zu verstärken, ging ich darauf aus, auch bei Anwendung des Nörremberg'schen Polarisationsapparates das Diamagneticum zwischen zwei Magnetpole zu bringen. Die Art und Weise, wie ich dies bewerkstelligte, ist in Fig. 535 dargestellt. Auf den einen Pol des Elektromagnets wird ein

Fig. 535.



eiserner Bügel B aufgesetzt und durch Holzschrauben festgehalten, welche in das Brettchen t eingelassen sind. Gerade über der Mitte des anderen Poles endigt der Bügel B mit einem hohlen Eisencylinder C, in welchem ein eisernes Rohr nn von wenigstens 2''' innerer Oeffnung und nahe 2''' Wanddicke auf- und abgeschoben und mittelst der Schraube s an jeder beliebigen Stelle festgestellt werden kann. nn wird so gerichtet, dass es genau auf der oberen Fläche des Diamagneticums d aufsitzt, welches auf dem belegten Spiegel mm des Nörremberg'schen Apparates steht. Mittelst dieser Vorrichtung habe ich bei Anwendung von 20 Bunsen'schen Elementen (5 vierfachen) in einem 5 Centimeter hohen Säulchen von gewöhnlichem Flintglas eine Drehung der Polarisationsebene von 9^0 bei Umkehrung der Polarität erhalten. Die Dimensionen dieser Vorrichtung hängen natürlich von dem Apparat ab, an welchem sie angebracht werden soll.

Gesetze der elektromagnetischen Drehung der Polarisationsebene. 190 Ueber den Zusammenhang zwischen der Stärke des Stromes, welcher eine Magnetisirungsspirale von der in Fig. 531 dargestellten Art durchläuft und der Drehung der Polarisationsebene in einer Flüssigkeit, welche in entsprechender Weise in die Höhlung dieser Spirale eingebracht wird, hat Wiedemann Versuche angestellt (Pogg. Annal. Bd. LXXXII). Den folgenden Werth der Stromstärke i (nach einer

nicht näher definirten Einheit gemessen) ergeben sich die nebenstehenden Drehungen der Polarisationsebene in Schwefelkohlenstoff für die Strahlen des Spectrums, welche den Fraunhofer'schen Linien *D*, *E* und *F* entsprechen.

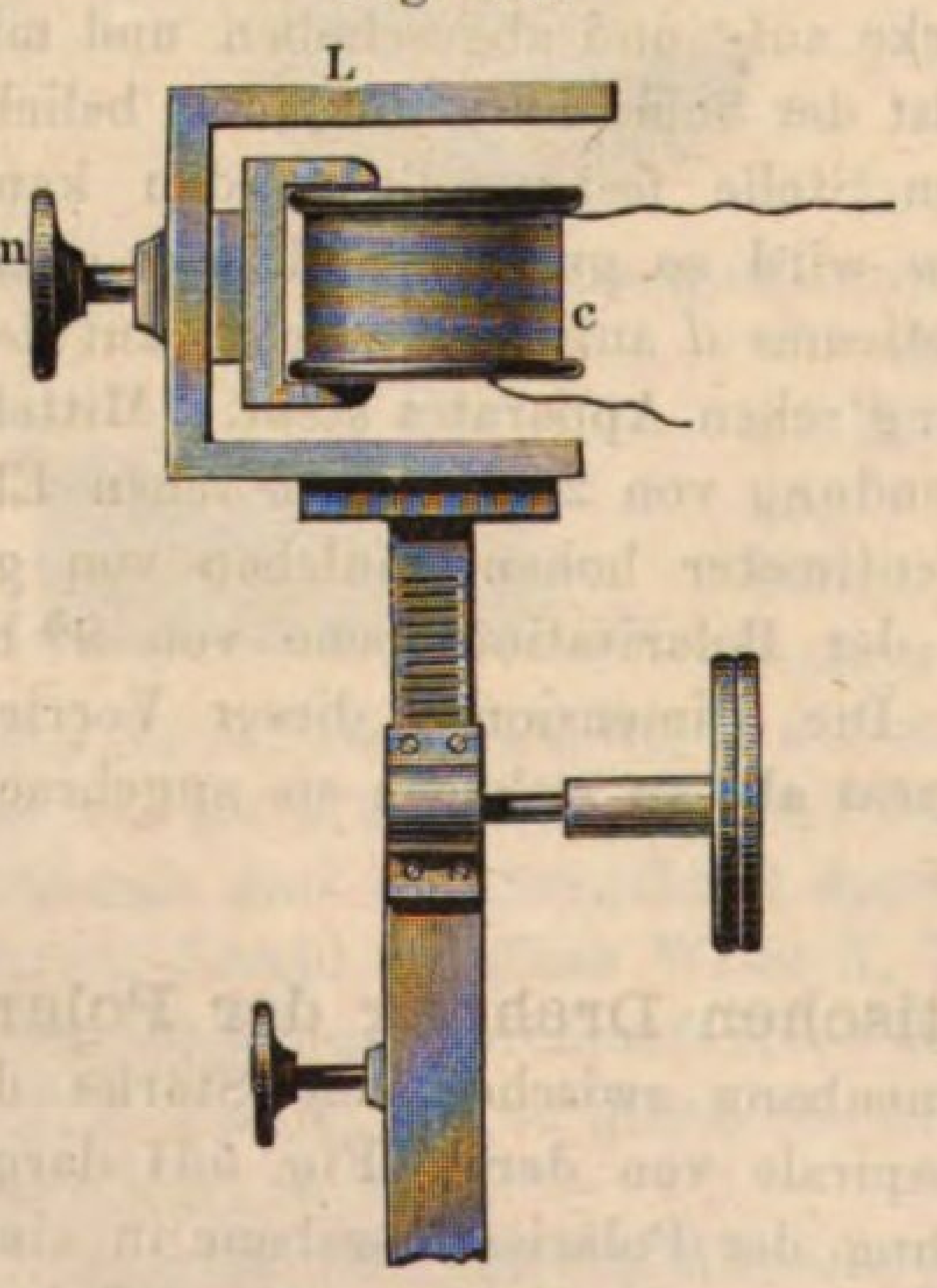
i	*D*	*E*	*F*
260	0,70°	1,1°	—
394	1,2	1,7	1,9
521	1,5	2,2	2,5

Daraus folgt

1. dass die Drehung der Polarisationsebene der Intensität des Stromes proportional ist;
2. dass die Drehung der Polarisationsebene mit der Brechbarkeit der Strahlen zunimmt; ein bestimmtes Gesetz zwischen der Drehung der Polarisationsebene und der Wellenlänge hat sich jedoch nicht ergeben.

Die Abhängigkeit der Drehung der Polarisationsebene in einem Körper, welcher zwischen den Polen eines Elektromagnets aufgestellt ist, von den jeweils auf ihn wirkenden magnetischen Kräften hat Verdet untersucht (Annal. de chim. et de phys. 3. Sér. Bd. XLI). Um die Stärke der magnetisirenden Kraft zwischen den Polen des Elektromagnets, Fig. 529, S. 574, zu messen, wurde an der fraglichen Stelle eine kleine Inductionsspirale *c*, Fig. 536, in der Weise angebracht, dass man sie mittelst des Knopfes *m* um eine horizontale Axe drehen konnte, welche rechtwinklig stand zur Axe der Elektromagnete. Diese Spirale war aus einem 23^m langen, 0,5^{mm} dicken übersponnenen Kupferdraht gebildet, sie war 15^{mm} hoch und hatte einen äusseren Durchmesser von 28^{mm}. Die Drahtenden dieser Spirale waren mit einem entfernt aufgestellten empfindlichen Spiegelgalvanometer verbunden. Die Spirale wird zunächst so gestellt, dass ihr Mittelpunkt in gleicher Höhe stand mit der Axe der Elektromagnete. Dreht man alsdann die Spirale aus der in unserer Figur dargestell-

Fig. 536.



ten Lage rasch um 90°, so dass ihre Axe in gleiche Richtung mit der Axe der Elektromagnete zu stehen kommt, so wird in der Spirale ein Strom inducirt, welcher eine entsprechende Ablenkung des Galvanometers bewirkt.

Nachdem durch Beobachtung dieser Ablenkung ein Maass für die Stärke der magnetisirenden Kraft erhalten worden war, welche auf die Stelle wirkt, an welcher sich die Spirale befand, wird nun an dieselbe Stelle das zu untersuchende Diamagneticum gebracht. Dasselbe wurde zu diesem Zwecke auf den Rahmen L gelegt, welcher dann mittelst einer gezahnten Stange so weit gesenkt wurde, dass die Axe des Diamagneticums mit der Axe der Elektromagnete zusammenfiel, dass man also die in dem Diamagneticum hervorgebrachte Drehung der Polarisationsebene beobachten konnte. Mit einem 40^{mm} langen Stab von Faraday'schem Glase wurden auf diese Weise folgende Resultate erhalten.

Zahl der verwendeten Bunsen'schen Becher	Abstand der Pole.	Magnetisirende Kraft m.	Drehung der Polarisationsebene a.	$\frac{a}{m}$
20	60^{mm}	143,4	9° 13,75′	3,86
20	80	115	7 28,50	3,90
10	60	112,4	7 17,75	3,89
10	90	63,6	3 55,75	3,71

Die fast vollkommene Gleichheit des Quotienten $\frac{a}{m}$ beweist, dass die Drehung der Polarisationsebene im Diamagneticum stets der magnetisirenden Kraft proportional ist, welche auf dasselbe wirkt.

Als ein Stück Faraday'schen Glases an verschiedenen Stellen des Raumes zwischen den beiden Polen des Ruhmkorff'schen Elektromagnets aufgestellt wurde, ohne jedoch einem der Pole zu nahe zu kommen, blieb die Drehung der Polarisationsebene fast unverändert dieselbe.

Bertin hat die Drehung der Polarisationsebene untersucht, welche ein kräftiger (Elektro-) Magnetpol auf dasselbe Stück eines Diamagneticums in verschiedenen Entfernungen hervorbringt. Die folgende Tabelle enthält die Resultate einer in dieser Beziehung angestellten Beobachtungsreihe:

Versuche mit Faraday'schem Flintglase, 38,9^{mm} dick.

Abstand des Glases von dem Pol.	Beobachtete Drehung.	$\frac{y'}{y}$	Berechnete Drehung.	Unterschied zwischen der berechneten und beob. Drehung.
0^{mm}	11° 12′		11° 12′	0′
1	11 0	0,9821	10 56	— 4
2	10 25	0,9470	10 44	+ 19
3	10 7	0,9712	9 57	— 10
4	9 50	0,9719	9 51	+ 1
5	9 30	0,9661	9 35	+ 5
6	9 20	0,9824	9 16	— 4
7	9 47	0,9417	9 4	— 17
8	8 35	0,9772	8 34	— 1
9	8 20	0,9709	8 22	+ 2
10	7 55	0,9508	8 6	+ 11

Man übersieht leicht, dass, wenn man die Entfernungen in arithmetischer Reihe wachsen lässt, alsdann die entsprechenden Drehungen in nahezu geometrischer Reihe abnehmen; denn wenn man die nächstfolgende Drehung durch die vorhergehende dividirt, so erhält man sehr nahe denselben Quotienten, wie man aus der dritten Columne obiger Tabelle ersieht. Bezeichnen wir durch A die im Contact mit dem Pole vom Flintglas erzeugte Drehung, und mit Ar die von demselben in 1 Millimeter Abstand erzeugte, so ist die Wirkung in x^{mm} Abstand

$$y = Ar^x.$$

Nach dieser Formel sind die Werthe in der vierten Columne der obigen Tabelle berechnet, indem man $r = 0{,}97587$ setzte, was nahezu dem Mittel aus den Quotienten der dritten Verticalreihe gleich ist.

Wenn sich ein Diamagneticum zwischen zwei Magnetpolen befindet, so ist die Drehung der Polarisationsebene die Summe der Drehungen, welche jeder einzelne Pol in dem Diamagneticum bewirkt.

Danach aber ist das oben angeführte Bertin'sche Gesetz nicht ganz in Uebereinstimmung mit dem von Verdet gefundenen Resultat, dass man das Diamagneticum innerhalb gewisser Gränzen zwischen den Magnetpolen verschieben könne, ohne dass die Drehung der Polarisationsebene vergrössert oder vermindert werde.

Um die Frage zu entscheiden, ob die Drehung der Polarisationsebene,

welche durch die Einwirkung von Magnetpolen in einem Diamagneticum hervorgebracht wird, die Summe der Drehungen ist, welche dieselben Magnetpole in den einzelnen Schichten hervorbringen würde, wenn dieselben nicht mit den übrigen in Verbindung ständen, oder ob die einzelnen Schichten noch eine Wirkung auf die benachbarten ausüben, wie dies bei der Magnetisirung von Eisenstäben der Fall ist, brachte Bertin zunächst zwei sich berührende Stücke von Flintglas zwischen die beiden Pole des Elektromagnets und beobachtete die entsprechende Drehung der Polarisationsebene. Alsdann wurde der Reihe nach das erste und nachdem es wieder an seine alte Stelle gebracht worden war, das zweite Stück Flintglas entfernt und die Drehung der Polarisationsebene in dem zurückgebliebenen ermittelt. Folgendes sind einige der von Bertin in dieser Beziehung gemachten Beobachtungen:

Flintgläser.		Drehungen bewirkt von den Flintgläsern		Unterschied zwischen der dritten Zahl und der Summe der beiden ersten.
		einzeln.	zusammen.	
Faraday'sches	18,3mm dick	8° 10′	25° 10′	− 5′
„	38,9	17 5		
Gemeines	38,9	12 15	19 32	+ 12′
„	43,5	7 5		

Die elektromagnetische Drehung der Polarisationsebene in einem Diamagneticum ist demnach gleich der Summe der Drehungen, welche die magnetisirende Kraft unmittelbar in den einzelnen Schichten desselben hervorbringt.

Wenn man ein Diamagneticum so zwischen die beiden Pole eines Elektromagnets bringt, dass die beiden Endflächen mit den entsprechenden Magnetpolen in Berührung bleiben, so nimmt die Drehung der Polarisationsebene nur bis zu einer gewissen Gränze mit der Verlängerung des Diamagnetismus zu, wie z. B. aus folgenden von Bertin mit Wasser gemachten Beobachtungen hervorgeht:

Dicke der Schicht	Drehung
1 Centimeter	2° 0′
2 „	3 30
3 „	4 25
13 „	5 0
15 „	5 0

Es erklärt sich dies dadurch, dass einerseits die Wirkung eines Magnetpols auf entferntere Schichten eine sehr geringe ist, andererseits aber die Stärke der Magnetpole eine geringere wird, wenn sie unter sonst gleichen Umständen weiter auseinander gerückt werden.

Unter sonst gleichen Umständen ist die Drehung der Polarisationsebene in verschiedenen Stoffen sehr verschieden So fand z. B. Faraday bei gleichen Längen und gleicher magnetisirender Kraft die Drehung der Polarisationsebene in

Schwerem Glas	6°
Flintglas	2,8
Steinsalz	2,2
Wasser	1

Becquerel fand bei gleicher magnetisirender Kraft die Drehung der Polarisationsebene in einer Schicht von 1 Centimeter Dicke für gesättigte

Lösung von Chlorzink	6°
„ „ Chlorcalcium	4,5
„ „ Chlornatrium	4,5
„ „ Wasser	3

für Alkohol und Aether war die Drehung noch geringer als für Wasser.

In einer Magnetisirungsspirale erhielt Becquerel bei gleicher Stromstärke und gleicher Länge der Röhre, welche die zu prüfende Flüssigkeit enthielt, folgende Drehungen:

Wasser	10°
Concentrirte Lösung von Eisenchlorür	3
Schwefelkohlenstoff	29

Das elektromagnetische Drehungsvermögen der Salzlösungen ist, wie Verdet gezeigt hat, wesentlich verschieden, je nachdem die in ihnen enthaltenen Salze magnetisch oder diamagnetisch sind.

Für die Lösungen von Salzen mit diamagnetischem Radical ist das Drehungsvermögen fast durchgängig grösser als für Wasser, so z. B. für die Lösungen von Aluminium-, Magnesium-, Kalium-, Natrium- oder Calciumsalzen. Nur bei wenigen, z. B. dem salpetersauren Ammoniak, findet das entgegengesetzte statt.

Für die Lösungen von Salzen mit magnetischem Radical, z. B. für die Lösungen von Eisenvitriol, Eisenchlorür und Eisenchlorid ist das Drehungsvermögen meist kleiner als das des Wassers.

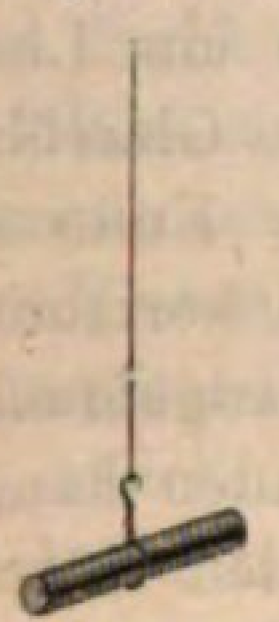
Betrachtet man die durch eine Salzlösung hervorgebrachte Drehung als die Summe der durch das Wasser und durch das Salz für sich hervorgebrachten Drehung, so ist das Drehungsvermögen solcher Salze, deren Lösungen schwächer drehen als Wasser, ein negatives.

Für Eisenvitriol und Eisenchlorür ist die negative Drehung des Salzes selbst bei den concentrirtesten Lösungen noch nicht so bedeutend, dass sie die positive Drehung des Lösungsmittels gänzlich aufheben könnte.

Die Lösungen von Eisenchlorid zeigen dagegen bei stärkerer Concentration selbst negative Drehungen, d. h. solche, welche der Richtung des magnetisirenden Stromes entgegengesetzt sind. Für eine Lösung, welche 40 Proc. Eisenchlorid enthält, ist die negative Drehung schon 6- bis 7mal grösser als die positive des Wassers, sie ist also ungefähr gleich der des Faraday'schen Glases. Das negative Drehungsvermögen einer Lösung von 55 Theilen Eisenchlorid in 45 Theilen Holzgeist ist ungefähr doppelt so stark als das des Faraday'schen Glases.

Abstossende Wirkung der Magnete auf nicht magnetische Körper. Faraday war der Meinung, dass eine Einwirkung der 191
Magnetpole auch auf undurchsichtige Körper stattfinden müsse, dass sie sich auch noch auf anderem als auf optischem Wege werde darthun lassen. Er fand diese Ansicht durch spätere Versuche vollkommen bestätigt, indem sich zeigte, dass die Magnetkraft auf alle Körper wirkt, dass aber die Wirkung auf magnetische Körper eine andere ist als auf die diamagnetischen.

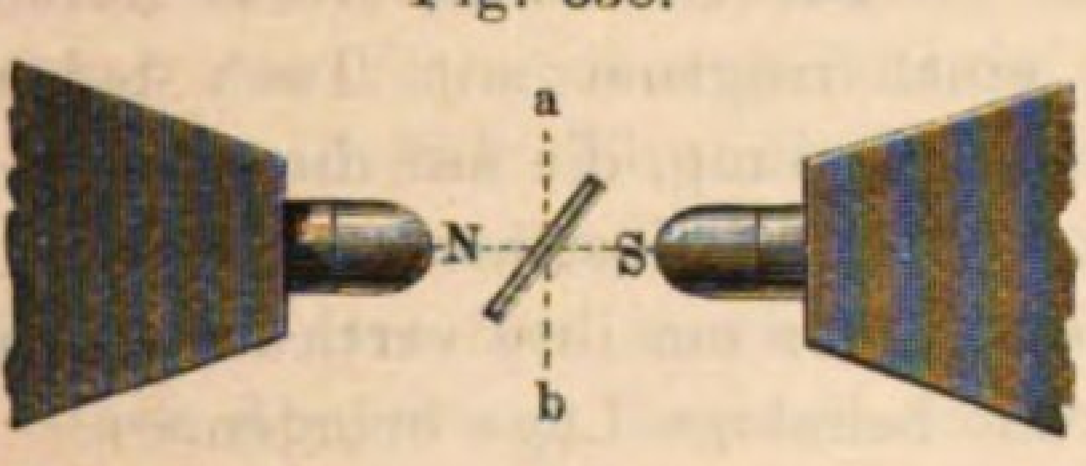
Fig. 537.



Bringt man einen Stab schweren Glases oder auch ein Stäbchen von Wismuth, an Seidenfäden Fig. 537 so aufgehängt, dass seine Längenaxe horizontal ist und es sich in horizontaler Ebene frei drehen kann, zwischen die beiden Pole eines sehr kräftigen Elektromagnets, so beobachtet man die merkwürdige Erscheinung, dass sich das Stäbchen rechtwinklig zu der Verbindungslinie der beiden Pole stellt und, aus dieser Lage herausgebracht, nach einigen Schwingungen stets wieder in dieselbe zurückkehrt.

In Fig. 538 seien N und S die beiden Pole eines kräftigen Elektromagnets von oben gesehen, so ist ab die Lage, welche der Glas- oder Wismuthstab einnimmt. Hätte man statt des Wismuthstäbchens einen Eisenstab zwischen den Polen aufgehängt, so hätte er sich in die Richtung gestellt, welche die Magnetpole verbindet.

Fig. 538.



Faraday nennt die Richtung NS die axiale, ab die äquatoriale Lage. Ein Eisenstab stellt sich also zwischen den beiden Magnetpolen axial, der Glasstab sowohl wie der Wismuthstab stellen sich äquatorial.

Um den Versuch mit dem grossen Elektromagnet Fig. 338 S. 366 anzustellen, versieht man die Halbanker mit den Polspitzen N und S', Fig. 475 Seite 517. Um diese Polspitzen bequem anbringen zu können, sind die einander zugekehrten Enden b und c der eisernen Röhren ab und cd, Fig. 530 Seite 575, innen mit einem Schraubengewinde versehen, so dass man die abgerundeten Polspitzen hier einschrauben kann. Zur Aufhängung des zu prüfenden Stäbchens zwischen den Polspitzen kann

man dieselbe Vorrichtung, Fig. 516 Seite 553, gebrauchen, welche dort zur Aufhängung des Kupferwürfels gedient hatte.

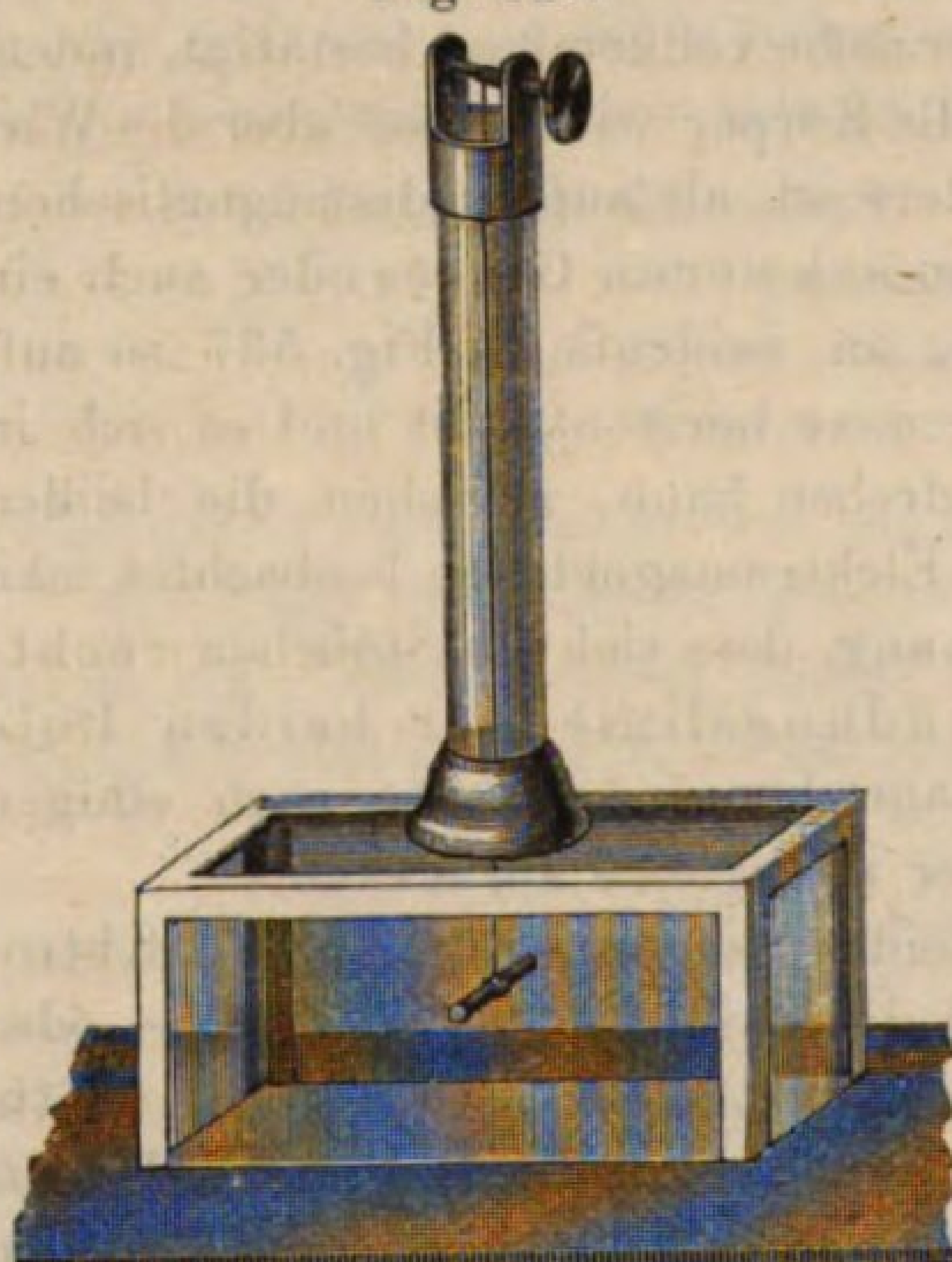
Es versteht sich von selbst, dass man diese Versuche eben so gut auch mit dem Ruhmkorff'schen Elektromagnet, Fig. 529 S. 574, anstellen kann.

Selbst schwächere Elektromagnete, wie der in Fig. 336 Seite 365 abgebildete, genügen, um die äquatoriale Einstellung vieler Substanzen zu zeigen. Man legt zu diesem Zweck auf die Pole dieses Elektromagnets Halbanker von der Form Fig. 539, zwischen denen man das zu prüfende Stäbchen aufhängt. — Will man das aufgehängte Stäbchen vor Luftströmungen schützen, so kann man dasselbe mit einem Glaskasten umgeben. Fig. 540 zeigt eine zu diesem Zweck für den Elektromagnet Fig. 336 S. 365 in möglichster Einfachheit construirte Vorrichtung. Die Kanten des Glaskastens sind mit Papier verklebt. Die obere Glasplatte hat in der Mitte ein Loch, über welchem sich eine Glasröhre erhebt; an dem oberen Ende ist eine Fassung mit einem horizontalen drehbaren Stäbchen angebracht, an welchem der Seidenfaden hängt, der den zu untersuchenden Körper trägt. Durch Drehen dieses Stäbchens kann man den unten hängenden Körper beliebig heben und senken.

Fig. 539.



Fig. 540.



Die Glasröhre steckt unten in einer ringsum mit Tuch belegten Holzfassung, die auf die obere Glasplatte des Kästchens aufgeleimt ist; man kann also die ganze Glasröhre sehr sicher um ihre verticale Axe umdrehen und dadurch das Stäbchen in die beliebige Lage bringen.

Wenn das zu prüfende Stäbchen in gehöriger Weise zwischen den beiden Polspitzen aufgehängt und in einer Lage zur Ruhe gekommen ist, welche ungefähr zwischen der axialen und äquatorialen in der Mitte liegt, so wird es, sobald man die Kette schliesst, welche den Elektromagnet in Thätigkeit setzt, entweder nach der axialen Lage getrieben, wie z. B. ein Platinstäbchen, oder nach der äquatorialen Lage, wie z. B. ein Wismuthstäbchen. Begreiflicher Weise kommt aber das Stäbchen nicht sogleich in seiner neuen Gleichgewichtslage zur Ruhe, sondern es schwingt um diese Gleichgewichtslage mit einer Geschwindigkeit, die von der Stärke abhängt, mit welcher die Magnetpole einwirken. Bei einiger Stärke des Elektromagnets sind diese Oscillationen sehr lebhaft und unterscheiden sich dadurch sehr wesentlich von den äusserst langsamen Schwingungen

des Stäbchens, welche eine Folge der schwachen Torsion des Seidenfadens sind; sobald man die Kette öffnet, oscillirt das Stäbchen wieder sehr langsam um seine frühere, durch den Faden bedingte Gleichgewichtsstellung.

Stellt man nun den Versuch in der angegebenen Weise mit Stäbchen verschiedener Substanzen an, so findet man, dass alle, wenn auch mit sehr ungleicher Energie, entweder äquatorial oder axial gestellt werden. In Beziehung auf ihr Verhalten gegen den Magnetismus zerfallen also alle Körper in zwei Abtheilungen, in die magnetischen und die diamagnetischen. Die magnetischen stellen sich axial, die diamagnetischen stellen sich äquatorial.

Durch Anwendung sehr kräftiger Elektromagnete ergiebt sich, dass die Classe der magnetischen oder, wie man sie auch nennt, der paramagnetischen Körper zahlreicher ist, als man durch die gewöhnlichen Prüfungsmittel nachweisen konnte; es stellen sich nämlich sehr schwach magnetische Körper, die sonst keine Spur von Magnetismus zeigen, zwischen den Polen kräftiger Elektromagnete noch axial. Faraday fand durch dieses Mittel, dass ausser den drei bekannten magnetischen Metallen auch noch Mangan, Chrom, Cer, Titan, Palladium, Platin und Osmium magnetisch sind.

Fast alle Eisenverbindungen erweisen sich zwischen den Polen des Elektromagnets als magnetisch, so z. B. Eisensalze und grünes Bouteillenglas.

Auch flüssige Körper zeigen sich entweder magnetisch oder diamagnetisch. Um sie dem Versuch zu unterwerfen, füllt man sie in dünnwandige Glasröhren, welche für sich allein mit so geringer Kraft äquatorial eingestellt werden, dass in den meisten Fällen die Einwirkung, welche die Magnetpole auf die in der Röhre enthaltene Flüssigkeit ausüben, weitaus überwiegend ist. Sind solche Röhren mit einer Auflösung von Eisensalzen gefüllt, so stellen sie sich axial.

Die äquatoriale Einstellung diamagnetischer Stäbchen rührt offenbar von einer abstossenden Wirkung her, welche die Magnetpole auf die Substanz derselben ausüben.

Diese Abstossung diamagnetischer Körper durch die Magnetpole lässt sich am auffallendsten folgendermaassen zeigen. Man hänge an den Seidenfaden statt des Stäbchens eine kleine Kugel von 2 bis 6^{mm} Durchmesser, deren Substanz sehr stark diamagnetisch ist, also etwa ein Kügelchen von Wismuth. Die Pole S' und N, Fig. 475 Seite 517, nähert man nun so weit, dass sie nur unbedeutend mehr von einander abstehen, als der Durchmesser des Kügelchens beträgt. So lange die Kette nicht geschlossen ist, kann man machen, dass das Kügelchen gerade in der Mitte zwischen den beiden Polen hängt; sobald man aber die Kette schliesst, wird das Kügelchen seitwärts zwischen den beiden Spitzen herausgetrieben, so dass der Faden, an dem es hängt, merklich von der verticalen Richtung abgelenkt ist. Beim Oeffnen der Kette fällt das Kügelchen wieder zurück.

Es ist dies ein Beweis einer sehr kräftigen Abstossung, welche beide Polspitzen auf das Kügelchen ausüben.

Plücker beobachtete die auffallende Erscheinung, dass ein Kohlenstäbchen sich axial zwischen die Polspitzen eines Elektromagnets stellte, so lange nur ein schwacher Strom die Spiralen durchlief; sobald aber durch stärkere Ströme ein kräftiger Magnetismus in den Eisenkernen erzeugt wurde, nahm das Kohlenstäbchen die äquatoriale Stellung ein.

Durch Zusammenschmelzen von Stanniol, der wahrscheinlich wegen seines Eisengehaltes magnetisch war, mit Wismuth gelang es ihm, Stäbchen anzufertigen, die sich gleichfalls zwischen schwachen Magnetpolen axial, zwischen starken äquatorial stellten.

Es ist dies die Folge eines ganz schwachen Eisengehaltes. Plücker zeigte, dass überhaupt die magnetischen Substanzen, denen eine ganz geringe Menge Eisen beigemischt ist, sich schwachen Magnetpolen gegenüber magnetisch verhalten, von stärkeren aber abgestossen werden.

Diese auf den ersten Anblick sehr auffallende Erscheinung findet eine sehr einfache Erklärung durch die von mir nachgewiesene Thatsache, dass das Eisen nicht über eine bestimmte Gränze hinaus magnetisirt werden kann, und dass für geringe Eisenmassen schon schwache magnetisirende Kräfte hinreichen, das Maximum des Magnetismus zu erzeugen. Bedenken wir nun, welch geringe Massen magnetischer Substanzen in den Körpern vertheilt sind, mit welchen Plücker experimentirte, so dürfen wir wohl annehmen, dass dieselben schon bei geringerer Stromstärke nahe bis zu ihrem Maximum magnetisirt sind, dass also die Variationen der Stromstärke keinen bedeutenden Einfluss mehr auf sie ausüben können, während der Diamagnetismus der ungleich grösseren Masse nicht magnetischer Substanzen der Stromstärke proportional wächst.

Sehr interessante Erscheinungen beobachtete Plücker, als er Flüssigkeiten in folgender Weise dem Einfluss der Pole eines Elektromagnets aussetzte. Auf jeden der Pole wurde ein eiserner Halbanker von der Fig. 541 dargestellten Form gelegt, und zwar so, dass die zugeschärften Seiten einander zugekehrt sind. Auf den Zwischenraum zwischen den beiden Halbankern wurde nun ein Uhrglas gesetzt, welches die Flüssigkeit enthielt.

Fig. 541.



Um den Versuch mit dem grossen Elektromagnet, Fig. 338 S. 366, anzustellen, kann man die Vorrichtung Fig. 567 S. 553 in Anwendung bringen.

Eisenfeilspäne häufen sich an den Kanten der Magnetstäbe am stärksten an, und es liess sich erwarten, dass magnetische Flüssigkeiten, in der erwähnten Weise über die Pole des Elektromagnets gebracht, sich über den Kanten der Halbanker anhäufen würden. Der Versuch bestätigte dies vollkommen. In das Uhrglas wurde eine concentrirte Auflösung von Eisenchlorid gebracht, welche einen Kreis von 25^{mm} Durchmesser bildete. Sobald durch Schliessung des Stromes die Halbanker in

Magnetpole verwandelt werden, krümmt sich die vorher ebene Oberfläche der Flüssigkeit in der Weise, dass sie über den Kanten der Halbanker aufsteigt und hier kleine Hügel bildet. Sind die Halbanker etwas weiter von einander entfernt, wie Fig. 542, so bilden sich zwei Hügel, welche durch ein Thal von einander getrennt sind; wenn aber die beiden zugewendeten Kasten der Halbanker sehr genähert sind, wie dies Fig. 543

Fig. 542.



Fig. 543.



darstellt, so fallen die beiden Hügel in einem einzigen zusammen. In letzterem Falle muss man die beiden Halbanker durch ein Stückchen Holz auseinanderhalten, damit sie nicht zusammenfahren.

Eine Lösung von Eisenchlorür zeigte sich schwächer magnetisch, noch schwächer eine solche von Eisenvitriol. Eine Lösung von salpetersaurem Nickeloxyd ist stärker magnetisch als die Lösung des Eisenvitriols.

Plücker unterwarf nun auch diamagnetische Flüssigkeiten demselben Verfahren. Als die Anker bis auf 2,5 Millimeter genähert waren, dehnte sich die Flüssigkeit nach der axialen Richtung aus, während sie sich nach der äquatorialen zusammenzog. Oberhalb der Mitte zwischen den beiden Halbankern bildete sich statt des früheren Bergrückens ein in der Aequatorialebene sich hinziehendes Thal. — Bei diamagnetischen Flüssigkeiten zeigt sich also ein Zurückweichen von den Kanten der Halbanker, doch sind die Wirkungen schwächer als bei magnetischen Flüssigkeiten.

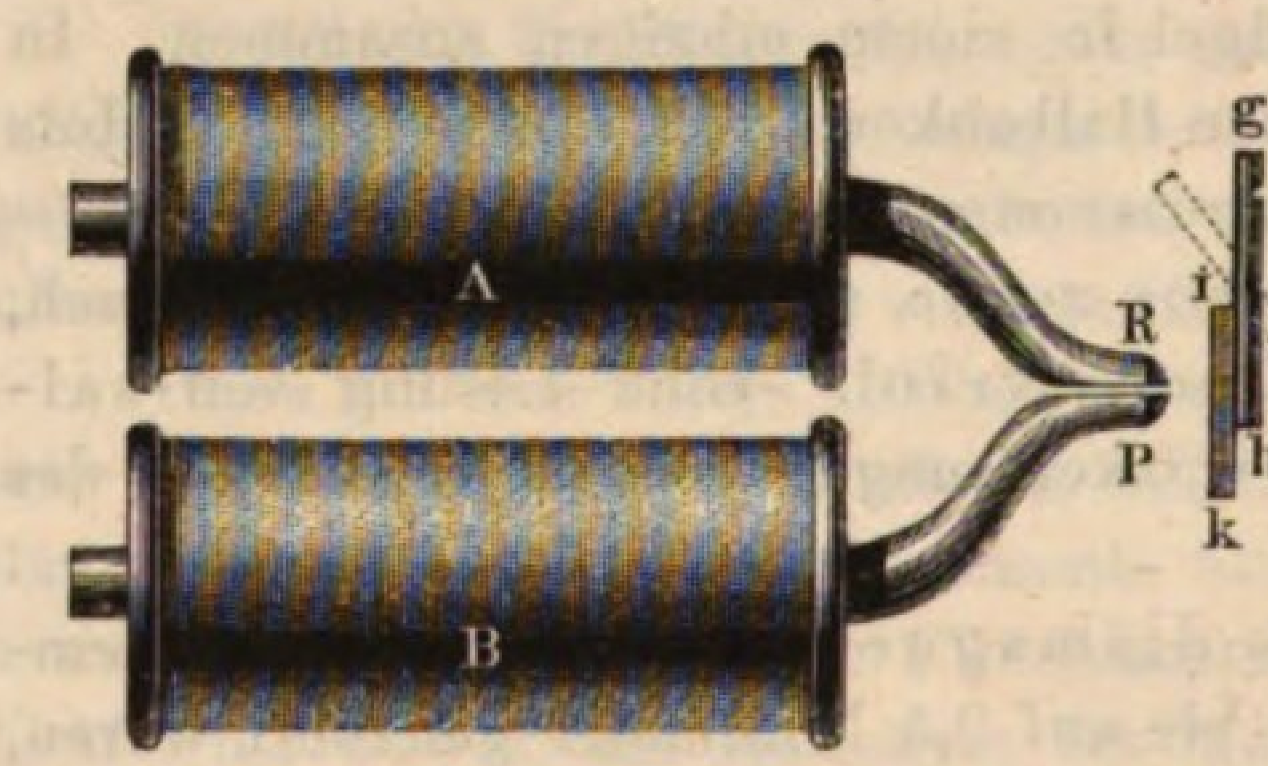
Stärkere Wirkungen als bei Anwendung eines Uhrglases erhält man, wenn man kleinere Quantitäten von Flüssigkeit auf ein Glimmerblatt bringt und dies auf die etwa 3^{mm} von einander entfernten Halbanker legt.

Theorie des Diamagnetismus. Das Verhalten der diamagneti- 192
schen Körper gegen Magnetpole liesse sich wohl, wie Faraday bemerkt, durch die Annahme erklären, dass in einem solchen Körper, also z. B. in einem Wismuthstäbchen, durch die Nähe eines Magnetpols Ströme erzeugt werden, welche den Ampère'schen Strömen des Magnets entgegengesetzt sind, so dass gleichnamige Pole einander gegenüber zu stehen kämen, während in magnetischen Metallen mit dem Magnet gleichgerichtete Ströme gebildet werden, so dass sich ungleichnamige Pole einander gegenüberstehen. Dies würde den Strömen in diamagnetischen Körpern gleiche Richtung geben mit denen, welche beim Beginn des inducirenden Stromes in benachbarten Leitern inducirt werden, und in den magnetischen Körpern gleiche mit denen, welche beim Aufhören desselben inducirenden Stromes entstehen. Faraday hat diese Ansicht aber weder ausgebildet noch festgehalten, sondern gegen die von einer indifferenten Repulsion vertauscht.

Eine Wismuthkugel wird sowohl vom Nordpol als auch vom Südpol eines Magnets abgestossen. Wenn aber hier eine indifferente Abstossung stattfände, so müsste ein Nordpol und ein Südpol, von derselben Seite her einer Wismuthkugel genähert, sich in ihren abstossenden Wirkungen unterstützen; Reich und später Tyndall haben aber gezeigt, dass die Wirkungen der beiden Pole sich in diesem Falle neutralisiren, dass also die frühere Ansicht Faraday's die richtige ist.

Der Apparat, mit welchem Tyndall dies nachwies, ist Fig. 544 schematisch dargestellt. A und B sind zwei kräftige Magnetisirungsspiralen, in denen Stäbe von weichem Eisen stecken, die auf der einen Seite weiter hervorragen und so umgebogen sind, wie die Figur zeigt. Die nur halb cylindrischen Enden P und R dieser Eisenstäbe sind mit ihren flachen Seiten ganz nahe zusammengerückt. Diesen Polen gegenüber ist nun ein Wismuthstab gh an einem Seidenfaden so aufgehängt, dass er durch eine schwache Torsion gegen eine Glasplatte ik angedrückt wird.

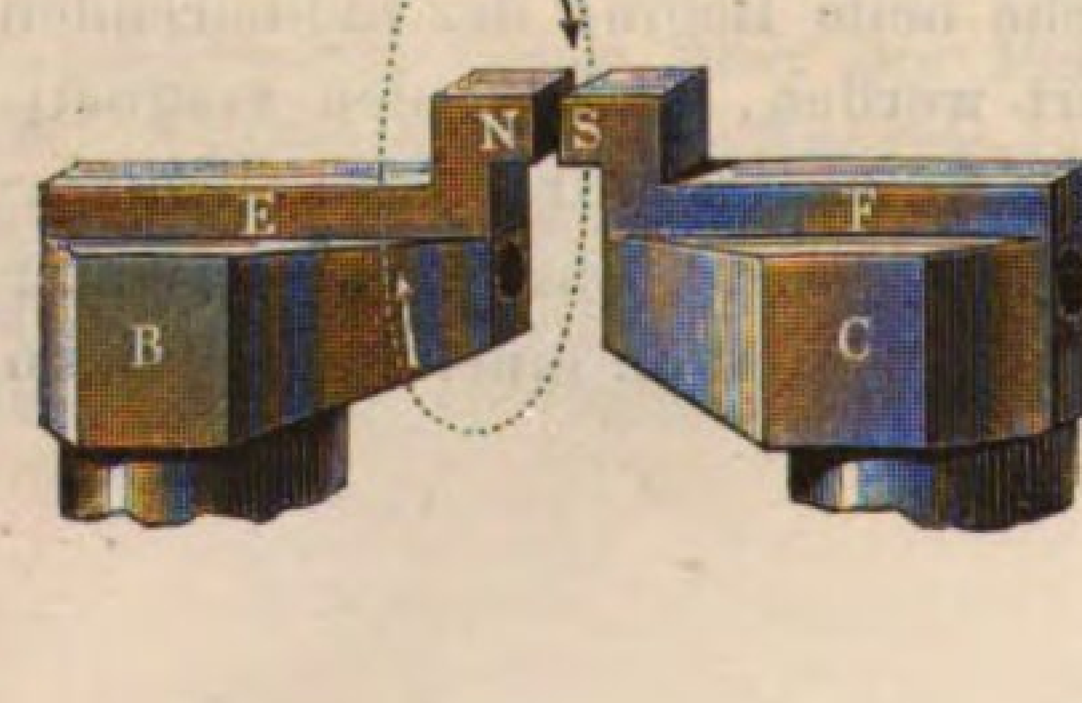
Fig. 544.



Wird nun ein Strom so durch die Windungen der beiden Spiralen gesandt, dass P und R gleichnamige Pole werden, so wird der Wismuthstab abgestossen; wird aber alsdann der Strom in der einen Spirale umgekehrt, so dass P und R zu ungleichnamigen Polen werden, so findet gar keine Einwirkung auf das Wismuthstäbchen gh statt.

Tyndall schloss weiter, dass die diamagnetische Abstossung im einfachen Verhältniss der Stromstärke wachsen müsse, wenn sie eine Wirkung des Magnetpols auf die unveränderte Substanz des diamagnetischen Körpers wäre, dass sie dagegen im quadratischen Verhältniss der Stromstärke wachsen müsse, wenn die Abstossung die Folge einer durch den Magnetpol im Wismuth erst hervorgerufenen Polarität ist. Tyndall zeigte nun durch Versuche, dass in der That das letztere der Fall ist. Den Versuch stellte er in der Weise an, dass er ein Wismuthstäbchen zwischen parallel gestellten ebenen Polflächen aufhing, etwa zwischen solchen wie N und S, Fig. 545, die aber zu diesem Zweck etwas weiter auseinandergerückt werden müssen. Ein zwischen ihnen aufgehängter Wismuthstab stellt sich äquatorial, sobald ein Strom durch die Umwindungen des Elektromagnets hindurchgesandt wird. Aus dieser äquatorialen Stellung etwas her-

Fig. 545.



ausgebracht, oscillirt er um diese Gleichgewichtslage, und zwar um so schneller, je grösser die Kraft ist, mit welcher die Magnetpole das Wismuthstäbchen abstossen; aus der Zahl der Schwingungen, welche das Wismuthstäbchen in einer bestimmten Zeit vollendet, kann man also einen Schluss auf die Stärke jener Abstossung ziehen. Man braucht also nur den Elektromagnet der Reihe nach durch verschieden starke Ströme zu erregen und jedesmal die entsprechenden Oscillationen des Wismuthstäbchens zu beobachten, um zu dem bereits oben angedeuteten Resultate zu gelangen.

Reich hat das von Tyndall aufgefundene Gesetz auf einem ganz anderen Wege, und zwar mit Hülfe der Drehwage, deren er sich zur Bestimmung der mittleren Dichtigkeit der Erde bedient hatte (siehe kosmische Physik S. 192), vollkommen bestätigt gefunden (Pogg. Annal. Bd. LCVII, S. 283).

Alle bis jetzt besprochenen diamagnetischen Abstossungen deuten darauf hin, dass in einem diamagnetischen Körper unter dem Einfluss einer magnetisirenden Kraft eine magnetische Polarität hervorgerufen wird, welche derjenigen entgegengesetzt ist, welche unter denselben Umständen ein Eisenstab würde angenommen haben.

Dass in der That eine solche Polarität in einem diamagnetischen Körper durch magnetisirende Kräfte inducirt wird, hat am unzweifelhaftesten Tyndall mit Hülfe des folgenden Apparates, Fig. 546 (a. f. S.), nachgewiesen (Phil. Trans. 1855).

Ein Wismuthstäbchen, welches in einem aus Silberdraht verfertigten, an einem Seidenfaden hängenden Bügel steckt, schwebt frei in der inneren Höhlung der kurzen, aber dicken Magnetisirungsspirale R. Das vorn aus der Spirale R hervorragende Ende a des Wismuthstäbchens befindet sich in der Mitte zwischen den einander zugekehrten Polen der Elektromagnete A und C, während das hintere Ende in gleicher Weise zwischen den Polen der Elektromagnete B und D schwebt.

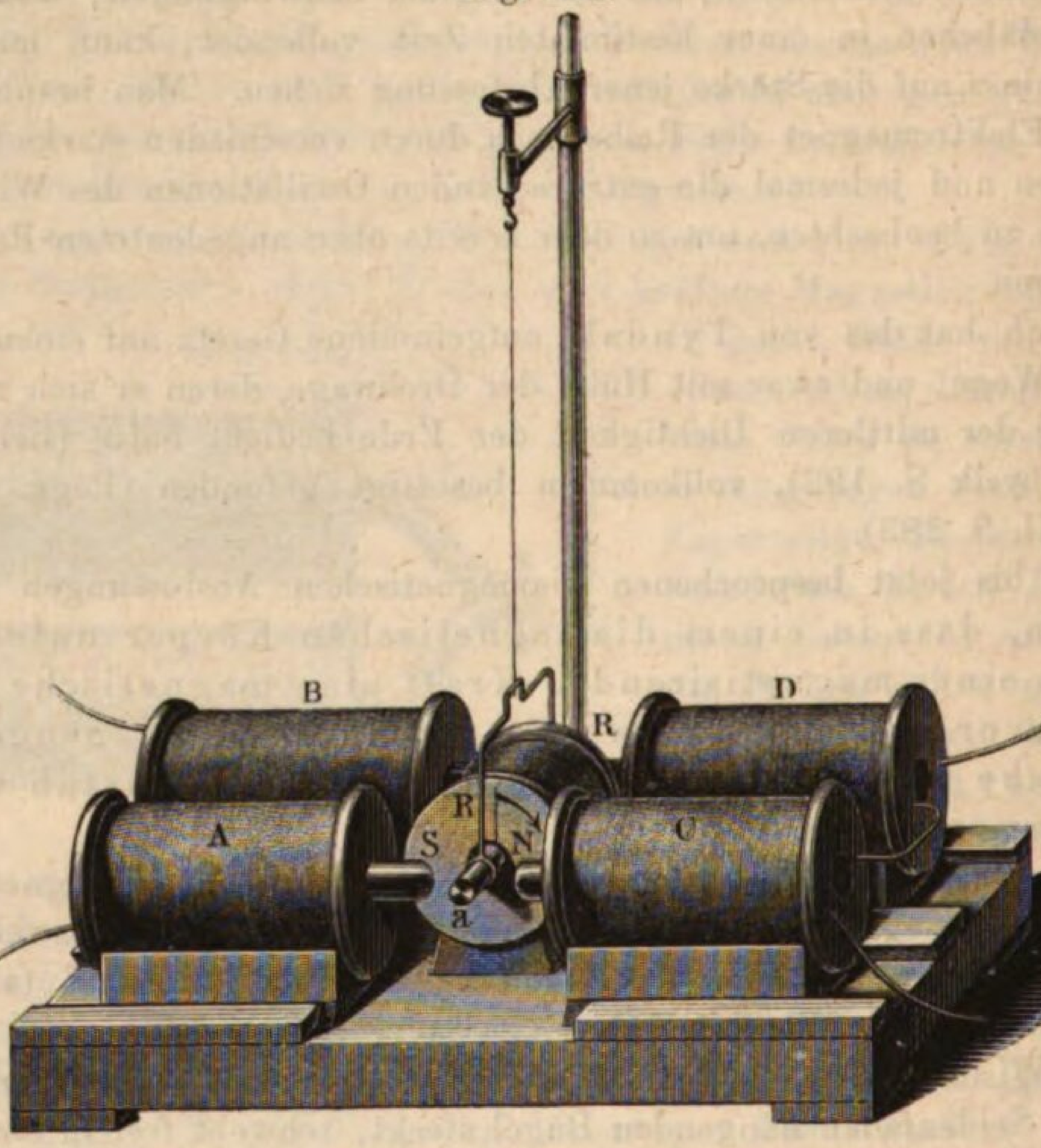
Wird nun durch die Spirale R ein Strom in der Richtung des Pfeils hindurchgesendet, so wird dadurch das Wismuthstäbchen diamagnetisch erregt. Wird nun ferner ein Strom durch die Windungen der Elektromagnete so hindurchgesendet, dass A und B ihre Südpole, C und D aber ihre Nordpole gegen das Wismuthstäbchen kehren, so erfolgt eine Ablenkung desselben in der Art, dass a sich gegen S hin bewegt. a ist demnach ein Nordpol, während offenbar, wenn an der Stelle des Wismuthstäbchens ein Eisenstäbchen gewesen wäre, bei der angegebenen Richtung des Stroms R sich in a ein Südpol gebildet hätte.

Wird der Strom gleichzeitig in vier Spiralen A, B, C und D umgekehrt, so dass nun in S ein Nordpol, in N ein Südpol entsteht, so wird das Wismuthstäbchen nach der entgegengesetzten Seite abgelenkt.

Zum Gelingen dieses Versuchs ist es nothwendig, dass die magnetisirende Kraft der Spirale R überwiegend ist über die Wirkung der Elek-

tromagnete A, B, C und D, welche sonst die von R hervorgebrachte Polarität des Wismuthstäbchens umkehren würden. Wenn der Strom von

Fig. 546.



15 Bunsen'schen Bechern durch die Spirale R ging, so waren nur fünf solcher Becher zur Erregung der vier Elektromagnete nöthig.

Zur Erklärung der unter dem Einfluss magnetisirender Kräfte in diamagnetischen Körpern sich bildenden Polarität hat Weber folgende Theorie aufgestellt:

Nähert man einem Magnetpol einen Leiter, so werden in demselben nach den bekannten Gesetzen der Induction Ströme gebildet, welche den Ampère'schen Strömen des Magnets entgegengesetzt sind; wird z. B. ein Kupferstäbchen dem Nordpol eines Magnets genähert, so wird das dem Magnet zugekehrte Ende des Kupferstücks durch diese inducirten Ströme, wenn auch nur vorübergehend, selbst zu einem Nordpol.

Durch Annäherung gegen einen Magnetpol wird also ein Wismuthstab durch Induction in einen polaren Zustand versetzt, welcher demjenigen ganz gleich ist, welchen wir zur Erklärung der diamagnetischen Erscheinungen annehmen müssen. Bekanntlich sind aber die Ströme, welche in der Masse eines Leiters inducirt werden, wenn er einem Magnetpole genähert wird, nur vorübergehend, sie verschwinden alsbald, wenn der Leiter ruhig in seiner Stellung gegen den Magnet verbleibt; um also die Erscheinungen des Magnetismus zu erklären, kommt es darauf an, zu

zeigen, wie es möglich ist, dass dieser bei der Annäherung gegen den Magnetpol hervorgerufene Zustand ein bleibender sein kann, so lange sich der Leiter dem Magnetpol gegenüber befindet.

Wären in dem Wismuth magnetische Fluida vorhanden, wie im Eisen, oder wäre, was auf dasselbe hinauskommt, jedes Wismuthmolekül schon von einem continuirlichen Strome umkreist, wie wir uns die Ampère'schen Ströme um die Eisenmoleküle denken, so könnte die Einwirkung eines Magnetpols durchaus keine andere Wirkung hervorbringen, als wie beim Eisen auch, d. h. er müsste die Fluida in der bekannten Weise scheiden oder er müsste die schon vorhandenen Molekularströme denen des einwirkenden Magnetpols parallel stellen, kurz, auf schon vorhandene, durch den Magnet erst zu richtende Molekularströme lassen sich die Erscheinungen des Diamagnetismus nicht zurückführen.

Die Ströme, welche dem diamagnetischen Körper seine Polarität ertheilen, müssen also erst bei der Annäherung gegen einen Magnetpol, oder dadurch, dass der Magnetismus in demselben entsteht, gebildet werden; sie dürfen aber nicht vorübergehend sein, wie die gewöhnlichen in der Masse von Leitern inducirten Ströme, sondern sie müssen beharrlich sein, sie müssen so lange andauern, als der diamagnetische Körper dem Magnetpole gegenüber bleibt.

Dies ist nun durch die Annahme zu erklären möglich, dass in dem diamagnetischen Körper Molekularströme inducirt werden, d. h. Ströme, welche die einzelnen Moleküle des diamagnetischen Körpers umkreisen, sich aber nicht in der Masse desselben, von einem Molekül zum anderen fortschreitend, bewegen.

Der Unterschied zwischen Strömen, welche sich durch Leiter in grösseren Kreisen bewegen, und den Molekularströmen besteht nur darin, dass die strömende Elektricität der ersteren beim Uebergang von einem Molekül zum anderen einen mehr oder minder bedeutenden (Leitungs-) Widerstand zu überwinden hat, wodurch ihre lebendige Kraft so schnell verzehrt wird, dass sie in einer unmessbar kleinen Zeit zur Ruhe gelangen muss, wenn ihr der erlittene Verlust nicht durch fortdauernde elektromotorische Kräfte immer wieder ersetzt wird. Das Gegentheil gilt von den Molekularströmen, welche nicht durch den Leiter von Molekül zu Molekül fortgehen, sondern sich um ein einziges Molekül herumbewegen, für die also jener Grund der Entziehung der lebendigen Kraft wegfällt. Diese Ströme beharren also ohne elektromotorische Kraft in gleicher Intensität.

Wirkt nun eine inducirende Kraft auf einen Körper, so können dadurch zweierlei Ströme gebildet werden: die gewöhnlichen Inductionsströme, welche sich durch die Masse des Körpers bewegen und alsbald verschwinden, und inducirte Molekularströme, welche auf ihrem Wege um die Moleküle herum keinen Widerstand finden und ungeschwächt fortdauern müssen, bis in Folge einer neuen entgegengesetzten Induction neue entgegengesetzte Molekularströme hinzukommen, welche die älteren aufheben.

Nach der Weber'schen Theorie des Diamagnetismus sind also die hierher gehörigen Erscheinungen durch Molekularströme zu erklären, welche in dem Diamagneticum durch Annäherung gegen einen Magnetpol oder dadurch inducirt werden, dass in einem benachbarten Pole der Magnetismus entsteht, und welche so lange fortdauern, bis das Verschwinden des Magnetismus in dem Magnetpol oder die Entfernung des Diamagneticums von demselben eine entgegengesetzte Induction bewirkt und dadurch die Wirkung der früheren aufhebt.

Die in grösseren Kreisen sich bewegenden Inductionsströme können sich in Isolatoren nicht bilden; inducirte Molekularströme sind aber in ihnen wohl möglich, da ja auch Nichtleiter, z. B. schweres Glas, von den Magnetpolen abgestossen werden und sich äquatorial stellen.

193 **Diamagnetismus der Flamme und der Gase.** Die früheren Versuche Faraday's über das Verhalten der Gase gegen Magnetpole gaben keine entscheidenden Resultate. — Bancalari fand zuerst, dass eine Flamme, zwischen die Pole eines Elektromagnets gestellt, im Augenblick der Herstellung des Stromes eine Abstossung erleidet und bei Unterbrechung desselben wieder in ihre ursprüngliche Lage zurückkehrt.

Zantedeschi, Faraday und Plücker haben weitere Versuche über den Diamagnetismus der Flamme angestellt. Plücker brachte zwischen die 3,5 Mm. von einander entfernten Polspitzen eines Elektromagnets eine ruhig brennende, keinen Russ absetzende Talgkerze, und hielt dieselbe so zwischen die Polspitzen, dass sich diese in $^7/_8$ der ursprünglichen Höhe der Flammen befanden. Fig. 547 zeigt für diesen Fall die äquatoriale, Fig. 548 die axiale Ansicht der Flamme.

Fig. 547.



Fig. 548.



Fig. 549.



Fig. 550.



Als die Flamme gehoben wurde, so dass sich die Polspitzen in der Hälfte ihrer ursprünglichen Höhe befanden, nahm die Flamme in äquatorialer Richtung die Gestalt Fig. 549 an.

Endlich wurde die Talgkerze so weit gehoben, dass sich die beiden Polspitzen mit dem oberen Ende des Dochtes in gleicher Höhe befanden und die Flamme, durch die eisernen Polspitzen abgekühlt, nicht mehr mit vollem Lichte brannte. Als die Kette geschlossen wurde, erhielt sie nicht allein ihr früheres Licht wieder, sondern sie brannte noch stärker, indem sie heruntergedrückt wurde und in der Aequatorialansicht die Form Fig. 550 annahm.

Bei diesen Versuchen mit der Talgkerze brannte dieselbe ohne Russ abzusetzen. Ein stark russendes Talglicht bietet ganz andere Erscheinungen dar. Wenn sich insbesondere die beiden Polspitzen in $^3/_4$ der Höhe der ursprünglichen Flamme befanden, so ergab sich beim Schliessen der Kette die in Fig. 551 dargestellte Aequatorialansicht. Der aufsteigende graue Qualm breitete sich in der Aequatorialebene bedeutend aus. Er wurde auswärts scharf von einer Parabel begränzt, deren Scheitel genau in die Mitte zwischen die beiden Polspitzen fällt.

Fig. 551.



Aehnliches zeigt eine russende Terpentinölflamme, der von einem brennenden Stück Zunder aufsteigende Rauch und so weiter.

Zur Hervorbringung dieser Erscheinungen sind grosse Elektromagnete und bedeutende Stromkräfte nöthig.

Alle die verschiedenen Formen, welche die Flammen unter dem Einfluss von Magnetpolen annehmen, erklären sich aus der Annahme, dass die Substanz der Flammen durch die Magnetpole abgestossen wird, und dass diese Abstossung hauptsächlich von der Axenlinie aus nach den Seiten erfolgt; es wird also durch diese Versuche bewiesen, dass die verschiedenen untersuchten Flammen sich diamagnetisch verhalten und zwar, dass sie in höherem Grade diamagnetisch sind als die umgebende Luft.

Um das Verhalten verschiedener Gasarten bei gleicher Temperatur (der Temperatur der umgebenden Luft) zu prüfen, schlug Faraday folgendes Verfahren ein. Das zu prüfende Gas befand sich in einer Woulf'schen

Flasche. In die eine Oeffnung derselben wurde eine fast bis zum Boden der Flasche hinabreichende Röhre befestigt, und durch diese wurde das Wasser eingegossen, welches das Gas austreiben sollte. Der Zufluss des Wassers war so regulirt, dass in der Minute 12 Cubikzoll Wasser hier ein-, also eben so viel Gas durch die andere Oeffnung ausströmte. Das Gas wurde durch eine Glasröhre zu der Stelle geleitet, an welcher es ausströmen sollte. Die Ausströmungsöffnung hatte ungefähr $^1/_8$ Zoll Durchmesser; sie befand sich unter den Polspitzen, wenn man mit einem leichteren, über den Polspitzen, wenn man mit einem schwereren Gas experimentirte, so dass ein in der Mitte zwischen den Polspitzen aufsteigender oder niedersinkender Gasstrom hervorgebracht wurde.

In der Ausströmungsröhre befand sich ein Stück Fliesspapier, welches mit concentrirter Salzsäure befeuchtet war, so dass das ausströmende Gas stets etwas Salzsäure mit sich führte. Um nun den Weg zu zeigen, welchen die aufsteigende oder niedersinkende Gassäule nimmt, verfuhr Faraday in folgender Weise: Ueber oder unter dem Mittelpunkte der Linie, welche die beiden Polspitzen verbindet, war eine an beiden Enden offene Glasröhre, so lang und so dick wie ein Finger, angebracht; eine gleiche Röhre in äquatorialer Richtung auf jeder Seite derselben, so also, dass die Ebene, welche die Axen dieser drei verticalen Röhren verbindet, äquatorial steht. Jede dieser Röhren enthielt ein Stück Fliesspapier, welches in Ammoniakflüssigkeit getaucht war, so dass Nebel entstehen mussten, wenn das salzsäurehaltige Gas durch eine solche Röhre hindurchging.

Strömte das Gas frei auf oder ab, so ging es durch die mittlere Röhre; erschien es aber nach Schliessung der Kette in den Seitenröhren, so war das ein Zeichen, dass es diamagnetisch gegen Luft ist.

In dieser Weise geprüft, zeigten sich diamagnetisch: Stickstoff (schwach), Wasserstoff, Kohlensäure, Kohlenoxydgas, Stickstoffoxydul, ölbildendes Gas, Steinkohlengas, Chlorwasserstoffsäure, Jodwasserstoffsäure, Ammoniak, Chlor, Jod, Brom, Cyan. — Stickstoffoxyd und salpetrigsaures Gas gaben keine entscheidenden Resultate.

Faraday änderte nun den Versuch dahin ab, dass er den Versuchsraum gegen die äussere Luft absperrte und ihn mit Kohlensäure, mit Steinkohlengas oder mit Wasserstoffgas füllte, so dass die zu untersuchenden Gase nicht in Luft, sondern in Kohlensäure, Steinkohlengas oder Wasserstoffgas ausströmten.

Auf diese Weise untersucht, verhielt sich das Sauerstoffgas magnetisch gegen alle anderen Gase. Der relative Magnetismus des Sauerstoffgases lässt sich sehr schön zeigen, wenn man dasselbe in einer Seifenblase enthalten zwischen die Pole des Elektromagnets bringt und dann den Strom abwechselnd öffnet und schliesst.

194 **Intensitätsbestimmung magnetischer und diamagnetischer Kräfte.** Die Grösse der Anziehung, welche magnetische Flüssigkeiten durch Magnetpole erfahren, hat Plücker in folgender Weise

gemessen: Zur Aufnahme der Flüssigkeit dient ein Uhrglas mit abgeschliffenem Rande; es wird bis über diesen Rand mit der Flüssigkeit gefüllt und dann dieselbe mit einem als Deckel dienenden matten Glase abgestrichen, so dass man sicher ist, dass die eingeschlossene Flüssigkeit bei gleicher Form stets dasselbe Volumen einnimmt.

Um die Stärke der Anziehung zu bestimmen, wird das Uhrglas mit seinem Inhalte und seinem Deckel in einen dünnen Ring von Messing gebracht, der an drei etwa 200 Millimeter langen Seidenfäden an einer Wage hängt, welche hinreichend fein ist, um 1 Milligramm anzugeben, und an der, ausser der Axe des Wagbalkens, kein Eisen sich befindet. Um die Wirkung bei schwachen Kräften zu verstärken, wird das Glas nicht mit einem einzelnen Pole in Berührung gebracht, sondern es werden die beiden Halbanker, etwa wie sie Fig. 545 dargestellt sind, so auf die Pole gelegt, dass die einander zugekehrten Enden derselben noch 6 Mm. von einander abstehen; die Wage wurde genau so adjustirt, dass das Uhrglas mit dem Ringe, wenn die Wage tarirt ist, gleichzeitig jeden der beiden Halbanker eben berührt. Nach Erregung des Magnetismus wird das Uhrglas mit seinem Inhalt angezogen, und um es von den Halbankern abzureissen, wird auf die Wagschale der anderen Seite feines Bleischrot und dann feiner Sand aufgelegt. Das Gewicht des zugelegten Schrotes oder Sandes ist das Maass für die jedesmalige magnetische Kraft.

Das leere Uhrglas selbst nebst dem Messingringe zeigte sich magnetisch; als der Elektromagnet durch 6 Platinelemente erregt wurde, ward es noch mit einer Kraft von 0,4 Gramm angezogen.

Als das Uhrglas mit Wasser gefüllt wurde, betrug die Anziehung noch 0,28 Gramm. Die diamagnetische Abstossung des im Uhrglase eingeschlossenen Wassers beträgt also 0,12 Gramm.

Nun bereitete Plücker vier Lösungen von Eisenchlorür, deren Salzgehalt sich verhielt wie 8 : 4 : 2 : 1 und bestimmte die zum Abziehen nöthigen Gewichte. Es ergab sich aus diesen Versuchen, dass die Anziehung der Eisenchlorürlösung dem Gehalte an Eisenchlorür proportional ist.

Ganz ähnliche Resultate wurden mit fein vertheiltem Eisen erhalten, welches in frischem Schweineschmalz gleichmässig vertheilt war.

Aehnliche Versuche wurden auch mit anderen eisen- und nickelhaltigen Substanzen gemacht. Die folgende Tabelle enthält einen Theil der so erhaltenen Resultate:

	A	*B*	*C*	*D*
Salpetersaures Eisenoxyd .	14,55 gr.	1,212 gr.	2,502 gr.	2,064 gr.
Salzsaures Eisenoxydul . .	16,53	2,825	7,095	2,501
Schmalzmischung 50 : 1 .	8,225	0,161	82,370	50,740
Eisenoxyd, gepulvert . . .	14,82	10,377	21,690	2,090
Eisenglanz	33,72	23,604	91,755	3,887
Eisenoxydhydrat	16,50	8,750	13,238	1,513

Die Columne A enthält das Gewicht der untersuchten Substanz, unter B findet sich das Gewicht des in der untersuchten Masse enthaltenen Eisens; die mit C überschriebene Columne enthält die Grösse der beobachteten magnetischen Anziehung. Dividirt man mit den Zahlen unter B in die unter C stehenden, so erhält man die Zahlen der letzten Verticalreihe, welche also angiebt, wie gross die Anziehung gewesen sein würde, wenn bei gleichmässiger Vertheilung im Inneren des Uhrglases der Eisengehalt der Substanz gerade 1 Gramm betragen hätte.

Wir sehen daraus, dass bei gleichem Eisengehalt die magnetische Anziehung verschiedener Eisenverbindungen sehr verschieden ist, dass die magnetischen Eigenschaften des Eisens in den meisten seiner Verbindungen ausserordentlich geschwächt erscheinen. Bezeichnen wir die magnetische Anziehung des metallischen Eisens mit 100 000, so ist die Anziehung, welche unter gleichen Umständen die gleiche Menge Eisen in verschiedenen Verbindungen erfährt, die folgende:

Eisen metallisch	100 000
„ im Oxyd	714
„ im Eisenglanz	761
„ im Eisenoxydhydrat	296
„ in der Lösung von salpeters. Eisenoxyd	410
„ „ „ „ „ salzs. Eisenoxydul .	490

Man sieht aus dieser Zusammenstellung, wie sehr die magnetischen Eigenschaften des Eisens abnehmen, wenn dieses Metall mit anderen Körpern chemische Verbindungen eingeht. Eine einzige Eisenverbindung zeigt einen stärkeren Magnetismus; bezeichnen wir den Magnetismus des Eisens mit 100 000, so ist der eines gleichen Gewichtes Magneteisenstein 40 227. Es ist dies eine Verbindung von Eisenoxyd mit Eisenoxydul ($FeO + Fe_2O_3$). — Der starke Magnetismus dieser Verbindung rührt höchst wahrscheinlich daher, dass das Eisenoxydul in sehr hohem Grade magnetisch ist. Das Eisenoxydul selbst konnte Plücker bisher noch nicht untersuchen.

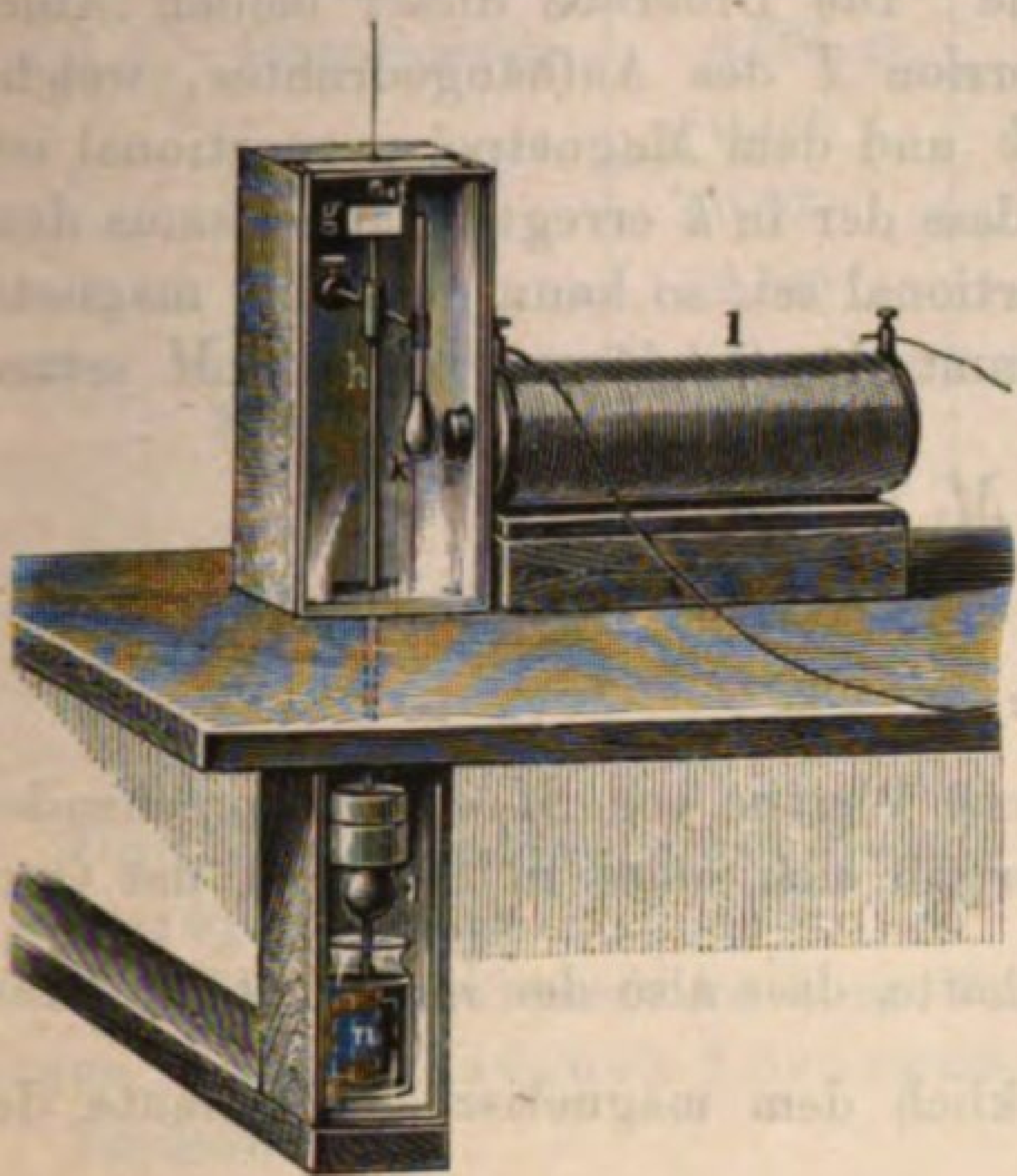
Die Grösse der diamagnetischen Abstossung wurde in der Weise ermittelt, wie es oben für Wasser angegeben wurde. Bezeichnen wir die Stärke des Diamagnetismus des Wassers mit 100, so ist bei gleichem Volumen die Stärke der diamagnetischen Abstossung für

Alkohol (0,813)	93
Aether	93
Schwefelkohlenstoff	129
Schwefelsäure	64.

Sehr genaue Versuche hat später Wiedemann über diesen Gegenstand angestellt (Pogg. Annal. CXXVI). Zur Messung des magnetischen Momentes der Salze und der Salzlösungen bediente er sich der Torsion. An einem 640^{mm} langen, 0,3^{mm} dicken hartgezogenen Neusilberdraht, welcher oben mit einer Torsionsvorrichtung versehen war, hing ein 550^{mm} langer, 5,5^{mm} dicker Messingdraht hh, Fig. 552. Oben war an diesem

Messingdraht ein Spiegel g, unterhalb desselben ein Querdraht angebracht, welcher an seinem vorderen Ende das kleine kolbenartige Glasgefäss k trug. An seinem untersten Ende waren an dem durch Bleigewichte beschwerten Drahte h vier Flügel von Messingblech befestigt, welche in ein Gefäss mit Oel eintauchten, um so die Schwingungen des Apparates rascher zu dämpfen.

Fig. 552.



Der Draht hh sammt allem was daran hing schwebte in einem geschlossenen Gehäuse von Holz, welches ihn vor Luftzug schützte. Dem Spiegel g gegenüber war die Holzwand durchbrochen und die Oeffnung mit einer Platte von Spiegelglas geschlossen. Seitlich war durch die Wand des Gehäuses das eine Ende eines horizontal liegenden 370^{mm} langen, $41{,}5^{mm}$ dicken Eisenstabes eingeschoben, dessen in der magnetischen Ost-Westrichtung liegende Axe in ihrer Verlängerung den Mittelpunkt der Glaskugel k traf. Der Eisenstab war von einer Magnetisirungsspirale von 1100 Windungen eines ungefähr 2^{mm} dicken übersponnenen Kupferdrahtes umgeben.

Oestlich in der Verlängerung der Axe dieses Elektromagnets, 2,48 Meter von demselben entfernt, war ein an einem Coconfaden hängender magnetischer Stahlspiegel angebracht, welcher von einer dämpfenden Kupferhülse umgeben war. Sobald der Elektromagnet in Thätigkeit gesetzt wurde, erfolgte eine Ablenkung dieses Stahlspiegels aus seiner Gleichgewichtslage. Die Grösse M dieser Ablenkung wurde an einer 900^{mm} von ihm entfernten Scala mittelst eines Fernrohrs (I) abgelesen und gab ein Maass für das magnetische Moment des Elektromagnets.

Ehe man den Elektromagnet erregte, wurde mittelst eines Fernrohrs (II) das durch den Spiegel g entworfene Bild einer 2,87 Meter von demselben entfernten Scala beobachtet und notirt, welcher Theilstrich gerade am Fadenkreuz einstand. Wurde nun der Elektromagnet erregt, so wurde die Kugel k vom Pol des Elektromagnets angezogen, wenn sie einen magnetischen Stoff enthielt, und man musste das obere Ende in entgegengesetzter Richtung drehen, um die Kugel k wieder in ihre ursprüngliche Lage zurückzuführen, um also zu machen, dass der gleiche Theilstrich wieder am Fadenkreuze des Fernrohrs (II) einstand, wie vorher. — Nachdem dies geschehen war, wurde der Strom unterbrochen, welcher den Elektromagneten umkreiste, die magnetische Wirkung des-

selben auf k hörte auf, es musste also nun der Messingstab h mit allem was daran hing die lediglich durch die Torsion des Neusilberdrahtes bedingte Stellung einnehmen, welche mittelst des Fernrohrs II am Scalenbild im Spiegel g beobachtet wurde. Die Differenz dieser beiden Ablesungen giebt ein Maass für die Torsion T des Aufhängedrahtes, welche offenbar der Anziehung zwischen k und dem Magnetpol proportional ist.

Wenn man annehmen kann, dass der in k erregte Magnetismus dem Moment des Elektromagnets proportional sei, so kann man das magnetische Moment M_1 der Kugel k sammt der Salzlösung gleich aM setzen und hat also

$$T = M . M_1 = aM^2$$

oder

$$a = \frac{T}{M^2}$$

Es wurden nun für verschiedene Werthe von M die entsprechenden Werthe von T ermittelt, und so ergab sich, dass in der That der Quotient $\frac{T}{M^2}$ einen constanten Werth hatte, dass also der im Inhalt der Glaskugel k erregte Magnetismus wirklich dem magnetischen Momente des Elektromagnets proportional war.

Bei diesen Versuchen tritt aber die Wirkung zwischen dem magnetischen Salze und dem Magnetpol nicht rein auf, sondern sie erscheint combinirt mit der Wirkung des Magnetpols auf das Lösungsmittel. Um dies zu eliminiren, stellte Wiedemann in gleicher Weise eine zweite Reihe von Versuchen an, bei welchen K nur mit dem Lösungsmittel gefüllt war. Bezeichnen wir für diesen Fall mit t die Grösse der Torsion, welche dem magnetischen Moment M des Elektromagnets entspricht, so ergab sich $b = \frac{t}{M^2}$.

Für den Magnetismus des Salzes allein haben wir also

$$m = a - b = \frac{T}{M^2} - \frac{t}{M^2}.$$

Um den Einfluss der Concentration der Lösung auf ihr magnetisches Moment zu untersuchen, bestimmte Wiedemann den Werth von m für verschiedene Concentrationsgrade einer wässerigen Lösung von Eisenchlorid und Manganchlorür. Die folgende Tabelle enthält unter g den Gehalt an Metall in 10 Cubikcentimetern der Lösung, in der folgenden die entsprechenden Werthe von m und in der letzten endlich den Quotienten $\frac{m}{g}$.

	g	m	$\frac{m}{g}$
Eisenchlorid	0,595 gr.	102,47	172,3
	0,450	77,16	170,3
	0,300	50,70	169,0
	0,149	24,72	165,7
Manganchlorür	0,956	163,00	170,5
	0,717	120,30	167,5
	0,478	80,87	170,0
	0,239	40,20	168,2

Der Magnetismus einer Salzlösung ist also ihrem Salzgehalte proportional.

Wiedemann wiederholte diese Versuche mit Lösungen desselben Salzes in verschiedenen Lösungsmitteln.

Er fand für

Eisenchlorid gelöst in	Wasser	Alkohol	Aether
$\frac{m}{g}$	172,3	164,3	170,8

Der Magnetismus des gelösten Salzes ist also von der Natur des Lösungsmittels nahezu unabhängig.

Was den Einfluss der Temperatur anlangt, so fand Wiedemann, dass der Magnetismus der gelösten Salze proportional der Temperatur abnimmt.

In der folgenden Tabelle sind die Werthe des Quotienten $\frac{m}{g}$, den man als specifischen Magnetismus der Substanz bezeichnen kann, für die von Wiedemann untersuchten Salze zusammengestellt.

	$\frac{m}{g}$	μ
Schwefelsaures Nickeloxydul	18,40	142
Salpetersaures Nickeloxydul	15,67	143
Nickelchlorür	21,54	140
Schwefelsaures Kobaltoxydul	41,52	322
Salpetersaures Kobaltoxydul	33,98	311
Kobaltchlorür	47,08	306
Schwefelsaures Eisenoxydul	51,36	390
Salpetersaures Eisenoxydul	42,91	386
Eisenchlorür	60,78	386
Schwefelsaures Eisenoxydul-Ammoniak	19,35	379
Schwefelsaures Manganoxydul	62,18	470
Salpetersaures Manganoxydul	52,46	469
Manganchlorür	74,74	470
Schwefelsaures Chromoxyd	19,39	381
Salpetersaures Chromoxyd	15,38	372
Chromchlorid	25,15	399
Schwefelsaures Eisenoxyd	46,51	930
Salpetersaures Eisenoxyd	38,89	941
Eisenchlorid	59,57	966

Die letzte Columne dieser Tabelle enthält das Product μ, welches man durch Multiplication der Werthe von $\frac{m}{g}$ mit dem Atomgewicht des entsprechenden Salzes erhält. Die Vergleichung dieser Werthe ergiebt das wichtige Resultat, dass bei analog zusammengesetzten Salzen desselben Metalles das Product des specifischen Magnetismus desselben mit ihrem Atomgewicht constant ist.

Dieser Satz erinnert an einen ganz ähnlichen in Betreff der specifischen Wärme der Salze, welcher später noch besprochen werden wird.

In anderer Form lässt sich dieser Satz auch so aussprechen: der durch die magnetisirende Kraft 1 erregte temporäre Magnetismus je eines Atoms der Verbindungen einer bestimmten Oxydationsstufe eines Metalls mit verschiedenen Säuren ist stets derselbe.

Wiedemann untersuchte nun auch den Magnetismus einer Reihe von Salzen in fester Form. Die Salze wurden dabei fein gepulvert und

möglichst innig mit geglühter Kieselsäure zusammengerieben in das Glasgefäss des Torsionsapparates gebracht. Diese Versuche führten zu dem Resultate, dass der Magnetismus der Salze in trockenem Zustande nahezu derselbe ist, wie der Magnetismus derselben Salze im gelösten Zustande, und dass die Verbindung der wasserfreien Salze mit Krystallwasser ihren Magnetismus nicht wesentlich ändert.

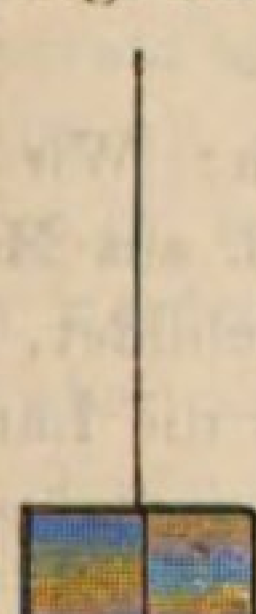
Wiedemann experimentirte stets mit chemisch reinen Salzen, und wo etwa seine Resultate mit früheren Plücker'schen Angaben nicht harmoniren, glaubt er, dass der Grund dieser Differenz darin zu suchen sei, dass Plücker nicht immer mit ganz reinen Salzen gearbeitet habe.

Einfluss der Krystallisation auf die diamagnetischen Erscheinungen. 195 Plücker machte zuerst die Beobachtung, dass die Krystallisationsverhältnisse einen wesentlichen Einfluss auf die diamagnetischen Erscheinungen ausüben. Eine Turmalinplatte z. B., welche einer Turmalinzange entnommen, also parallel mit der Axe geschliffen war, wurde so aufgehängt, dass die Richtung der Axe mit der Richtung des Fadens zusammenfiel (es ist dies in Fig. 553 durch die Schraffirung angedeutet; die Schraffirungslinien sind der optischen Axe der Platte parallel). Die Platte stellt sich zwischen den Polen des Elektromagnets axial; der Turmalin ist also eine magnetische Substanz (was wohl von seinem Eisengehalte herrührt). Nun wurde dieselbe Platte so aufgehängt, dass die Richtung der optischen Axe rechtwinkelig zu der des Fadens war, wie dies Fig. 554 angedeutet ist; jetzt stellte sich die Platte äquatorial.

Fig. 553.



Fig. 554.



Faraday machte Versuche mit gut krystallisirten Wismuthstücken, aus welchen sich ergab, dass die Hauptspaltungsrichtung stets ein Bestreben zeigt, sich äquatorial zwischen die Magnetpole zu stellen. Dieses Bestreben macht sich in der Weise geltend, dass eine Säule von krystallisirtem Wismuth, deren Axe auf der Hauptspaltungsfläche rechtwinkelig steht, sich selbst bei entschieden vorherrschenden Längendimensionen axial stellt.

Faraday nennt die Richtung des krystallisirten Wismuths, welche sich axial zu stellen strebt, die Magnetkrystallaxe.

Plücker liess geschmolzenes Wismuth langsam zwischen den Magnetpolen krystallisiren. Nach dem Erstarren zeigte sich, dass die Ebenen der vollkommenen Spaltbarkeit vorherrschend nach der äquatorialen Richtung lagen.

Nachdem Plücker das eigenthümliche Verhalten der Krystalle zwischen den Magnetpolen entdeckt hatte, suchte er es durch eine Einwirkung der Magnetpole auf die optischen Axen zu erklären. Später hat er seine Ansicht über diesen Gegenstand in folgender Weise modifi-

cirt: „Unter der inducirenden Wirkung eines Magnetpols wird jedes kleinste Theilchen eines Krystalls polar magnetisch oder polar diamagnetisch. Aber die Polarität tritt auf, nicht wie bei der gewöhnlichen Induction, nach einer veränderlichen Richtung, die bloss nach der Lage der Pole bestimmt wird, sondern je nach der Krystallform nach einer oder mehr als einer festen Richtung. Solche Richtungen, die in dem Krystalle durch die Form desselben gegeben sind, habe ich die magnetischen Axen des Krystalls genannt."

Krystalle des regulären Systems haben keine solche magnetische Axe.

Die optisch einaxigen Krystalle haben eine magnetische Axe, welche mit der krystallographischen Hauptaxe (also auch mit der optischen) zusammenfällt. Stellt sich die magnetische Axe zwischen den Magnetpolen axial, so nennt Plücker den Krystall magnetisch positiv; er nennt ihn magnetisch negativ, wenn sich die magnetische Axe zwischen den Magnetpolen äquatorial stellt.

Knoblauch ist dagegen der Ansicht, dass überhaupt in diamagnetischen wie in magnetischen Körpern, deren Theilchen nicht nach allen Seiten hin gleich weit von einander abstehen, die (diamagnetische oder magnetische) Wirkung, welche sich an ihnen zwischen den Magnetpolen kund giebt, immer in der Richtung am stärksten ist, in welcher die materiellen Theilchen am nächsten bei einander liegen.

Für diese Ansicht spricht der folgende Versuch: Wird aus dem feinen Pulver eines rein diamagnetischen Körpers, z. B. aus Mehl, mit Hülfe von etwas Gummiwasser ein vierkantiger Stab gebildet, so stellt sich dieser zwischen den Magnetpolen natürlich so, dass die Längenaxe äquatorial steht. Drückt man ihn in der Richtung seiner grösseren Ausdehnung so weit zusammen, dass das Parallelepiped in einen Würfel übergeht, so stellt sich dieselbe Richtung, welche vorher äquatorial war, auch jetzt noch äquatorial. Dies ist selbst dann noch der Fall, wenn die Zusammendrückung in demselben Sinne wie zuvor so weit fortgesetzt worden, dass aus dem Würfel eine dünne Platte entstanden ist, so dass also die Ebene der Platte axial steht.

Im zweiten Theil seiner „Lehre vom Galvanismus" u. s. w. hat jedoch Wiedemann Zweifel gegen die Richtigkeit dieser Ansicht ausgesprochen.

196 **Galvanische Zuckung.** Da einerseits die Inductionsströme vorzugsweise kräftige physiologische Wirkungen hervorbringen und andererseits das Verständniss der physiologischen Wirkungen der Elektricität sowohl als auch der Erscheinungen der thierischen Elektricität die Kenntniss der Inductionserscheinungen voraussetzen, so ist hier der passendste Platz diese Gegenstände näher zu betrachten.

Die Zuckungserscheinung, welche wir bereits S. 189 kennen gelernt haben, und deren Beobachtung eine neue Aera der Elektricitätslehre er-

öffnete, ist ein zusammengesetztes Phänomen. — Galvani suchte, wie wir bereits gesehen haben, die Quelle der Elektricitätserregung in dem Froschpräparate selber, während Volta dagegen die Behauptung aufstellte, dass die Zuckung lediglich durch einen elektrischen Strom erzeugt werde, dessen Quelle ausserhalb des Froschpräparates zu suchen sei und als deren Sitz er die Berührungsstelle der heterogenen Metalle bezeichnete, aus welchen der Leitungsbogen zusammengesetzt ist.

Volta's Ansicht errang zunächst den Sieg, und allerdings ist es vorzugsweise, wenn auch nicht ausschliesslich, die ausserhalb des Präparats entwickelte Elektricität, welche die Zuckung bei der ursprünglichen Form des Galvani'schen Zuckungsversuches hervorruft. — Wenn das Froschpräparat noch sehr empfindlich ist, so gelingt es allerdings, wie schon Galvani zeigte, auch Zuckungen nicht allein mit gleichartigem Metallbogen, sondern auch ganz ohne Metalle hervorzubringen. Wenn aber die Empfindlichkeit des Präparats so weit abgenommen hat, dass sich unter diesen Umständen keine Zuckungen mehr zeigen, so treten sie bei Anwendung eines aus zwei verschiedenen Metallen zusammengesetzten Schliessungsbogens sogleich wieder ein.

Wenn nun dadurch auch die Ueberlegenheit eines aus heterogenen Metallen gebildeten Schliessungsbogens dargethan ist, so findet doch, wie wir in den folgenden Paragraphen sehen werden, auch in den Muskeln des Froschpräparats selbst eine Elektricitätsentwickelung statt, wenn auch in anderer Weise als es Galvani sich vorstellte, und diese Elektricitätsentwickelung ist es, welche allein die Zuckung ohne Metalle bewirkt, die wir bald näher werden kennen lernen.

Soviel ist aber aus dem Gesagten schon klar, dass das Froschpräparat ein sehr empfindliches Rheoskop ist, welches in vielen Fällen selbst mit dem Multiplicator wetteifert. — Wir haben bereits früher gesehen, dass eine Volta'sche Säule von vielen Plattenpaaren auch in dem lebenden Körper Zuckungen hervorbringen kann, welche denen des galvanischen Froschpräparates entsprechen.

Wenn der Froschschenkel schon unter Umständen zuckt, unter welchen am lebenden Körper auch nicht die leiseste Spur eines Schlages wahrzunehmen ist, so liegt der Grund davon lediglich darin, dass bei dem galvanischen Präparat der Strom in einer ganzen Strecke seiner Bahn auf den Nerven allein angewiesen ist, während er beim lebenden Körper einen Leiter von viel grösserem Querschnitt, die Arme z. B., durchläuft, so dass also nur ein unbedeutender Theil des gesammten Stromes auf die Nerven kommt.

Um das Froschpräparat recht empfindlich zu machen, kommt es darauf an, sich ein möglichst langes Stück des Nerven freiliegend zu verschaffen; dies ist bei dem stromprüfenden Froschschenkel der Fall, welcher Fig. 555 (a. f. S.) abgebildet ist. Er besteht aus einem blossen Unterschenkel vom Frosch, an welchem der ganze Verlauf des Nervus ischiadicus von der Kniekehle bis zu den Lendenwirbeln erhalten ist.

Ein stromprüfender Froschschenkel kann also zur Nachweisung schwacher elektrischer Ströme gebraucht werden, welche man durch den

Fig. 555.



Nerven des Präparates gehen lässt; der stromprüfende Schenkel kann also als ein Rheoskop dienen, welches wir von dem magnetischen und dem chemischen als physiologisches Rheoskop unterscheiden wollen.

Die Eigenthümlichkeiten des physiologischen Rheoskops werden wir im folgenden Paragraphen kennen lernen.

197 **Allgemeines Gesetz der Nervenerregung durch den elektrischen Strom.** Schliesst man eine Volta'sche Säule von nicht übermässig vielen Plattenpaaren durch den menschlichen Körper, indem man jeden der Pole der Säule mit einer Hand berührt, so fühlt man einen Schlag; der fortdauernd durch den Körper circulirende Strom bringt kaum eine merkliche Wirkung hervor, während man einen zweiten Schlag empfindet, im Moment, in welchem man die Kette öffnet.

Aehnliches beobachtet man beim stromprüfenden Froschschenkel. Er antwortet nur auf das Eintreten und Aufhören des Stromes oder, allgemeiner ausgedrückt, nur auf die Schwankungen der Stromstärke, verhält sich aber ruhig während der Dauer eines gleichbleibenden Stromes.

Du Bois-Reymond hat dies in präciser Fassung als oberstes Gesetz der elektrischen Reizversuche in folgender Weise ausgesprochen:

Nicht der absolute Werth der Stromdichtigkeit in jedem Augenblicke ist es, auf den der Bewegungsnerv mit Zuckung antwortet, sondern die Veränderung dieses Werthes von einem Augenblicke zum anderen, und zwar ist die Anregung zur Bewegung, welche diesen Veränderungen folgt, um so bedeutender, je schneller sie bei gleicher Grösse vor sich gingen oder je grösser sie in der Zeiteinheit waren.

Dadurch erklärt sich nun auch, warum man bei Entladung einer Leydener Flasche einen so heftigen Schlag fühlt. Obgleich die dabei durch den Körper gehende Elektricitätsmenge ausserordentlich gering ist, so ist wegen der grossen Schnelligkeit der Entladung die physiologische Wirkung doch eine sehr bedeutende.

An die Schläge der Leydener Flasche schliessen sich in physiologischer Beziehung zunächst die Wirkungen der Inductionsströme an.

Es muss hier noch bemerkt werden, dass das oben ausgesprochene Gesetz in aller Strenge nur für die Bewegungsnerven gilt. Was die Empfindungsnerven betrifft, so sind sie sämmtlich, so weit sie sich überhaupt dem elektrischen Strome unterthan zeigen, neben der bei Schwan-

kungen der Dichtigkeitscurve auftretenden Wirkung auch einer Reaction auf die Fortdauer der Strömung in beständiger Grösse fähig.

Schon Volta spricht von einem eigenthümlichen fortdauernden Gefühl, welches man nach dem Schliessen einer Zinksilbersäule von 100 und mehr Plattenpaaren empfindet. Sehr bekannt ist der heftig stechende, brennende Schmerz, den man an verwundeten Hautstellen sogar im Kreise der einfachen Kette verspürt.

Eben so anhaltend ist der elektrische Geschmack.

Was den Gesichtssinn betrifft, so scheint Volta nur den Schliessungs- und Oeffnungsblitz gesehen zu haben; Ritter hat aber schon mittelst der einfachen Kette dauernde Lichtwirkungen beobachtet.

Wenn man den Strom einer Säule von 30 bis 40 Plattenpaaren mittelst Sonden in die Ohren einführt, so beobachtet man ein continuirliches Geräusch u. s. w.

Wenn nun aber in den Empfindungsnerven auch der gleichförmig fortdauernde Strom gefühlt wird, so ist doch selbst bei diesen die Wirkung beim Schluss und Oeffnen bedeutend stärker als die continuirliche.

So zeigt sich denn eine ziemlich grosse Aehnlichkeit zwischen der Nervenerregung und der Induction, worauf Marianini zuerst aufmerksam gemacht hat.

Der Muskelstrom. Es ist schon bemerkt worden, dass es be- 198
reits Galvani gelungen ist, indem er seine Theorie gegen Volta's Angriffe zu vertheidigen suchte, eine Zuckung ohne Metalle hervorzubringen. Schneidet man nach seiner Angabe an dem Galvani'schen Froschpräparat die Nerven dicht an ihrer Austrittsstelle aus dem Wirbelcanal ab, und bringt man sie, ohne sie in eine Flüssigkeit zu tauchen oder sonst einem verändernden Einfluss auszusetzen, mit der Aussenfläche des Schenkels in Berührung, so zuckt der Schenkel. Auch der folgende Versuch ist bereits von Galvani angestellt worden: wenn man zwei mit Salzlösung gefüllte Gläser neben einander stellt, in das eine die Füsse, in das andere die Wirbelsäule des Galvani'schen Präparates eintaucht, so erfolgt eine Zuckung desselben, sobald man die beiden Gefässe durch befeuchtete Asbest- oder Baumwollendochte leitend verbindet.

Auch Humboldt stellte Versuche an, welche die Elektricitätsentwickelung in den Froschpräparaten unwiderleglich darthun; allein die bald darauf erfolgte Entdeckung der Volta'schen Säule lenkte die Aufmerksamkeit der Naturforscher so sehr von diesen Versuchen ab, dass sie bald ganz in Vergessenheit geriethen.

Erst nach Entdeckung des Elektromagnetismus wurde dieser Gegenstand wieder aufgenommen. Nobili wollte die Empfindlichkeit seines Multiplicators mit der des Froschpräparates vergleichen. Er stellte den letzteren der eben besprochenen Galvani'schen Versuche in der Weise an, dass er in den leitenden Schliessungsbogen, welcher die beiden Gefässe verbinden sollte, den Multiplicator einschaltete. Bei den ersten

Versuchen zuckte das Froschpräparat, aber die Nadel des Multiplicators blieb ruhig; das Froschpräparat war also empfindlicher als der Multiplicator.

Nobili stellte einen neuen vollkommeneren Multiplicator her, und nun gelang es ihm, auf die angedeutete Weise einen ersten Ausschlag von 10⁰, 20⁰, ja von 30⁰ zu erhalten.

Die Ablenkung des Multiplicators war stets so gerichtet, dass sie einen positiven Strom von den Muskeln zu den Nerven oder von den Füssen zu dem Kopfe im Frosche anzeigte. Diesen Strom, denselben, welcher die Galvani'sche Zuckung ohne Metalle erzeugt, nennt Nobili „*la corrente propria della rana*"; wir nennen ihn Froschstrom.

Der Froschstrom ist nicht bloss im Augenblicke der Schliessung, sondern dauernd vorhanden; in einem einzelnen Falle erhielt Nobili 5⁰ beständiger Ablenkung. — Die Wirkung wird verstärkt, wenn man mehrere Frösche, nach dem Gesetz der Säule geordnet, in den Kreis einführt; ein zweiter Frosch gab 8⁰, ein dritter gab 11⁰ beständiger Ablenkung. — Das Dasein des Stromes ist von der Fähigkeit des Frosches, mit Zuckung darauf zu antworten, völlig unabhängig, was daraus hervorgeht, dass die Multiplicatorwirkungen mehrere Stunden fortdauern, während die Zuckungen höchstens nach $^1/_4$ Stunde aufhören.

Nobili war der Meinung, dass diese Ströme thermo-elektrischen Ursprungs seien.

Nach Nobili hat zunächst Matteucci die Untersuchungen über die thierische Elektricität fortgesetzt. Er bediente sich zu seinen Versuchen eines Multiplicators von 2500 Windungen. Die Drahtenden dieser Windungen waren mit Platinplatten versehen, welche in zwei mit verdünnter Salzlösung gefüllte Porcellangefässe tauchten. Die Schliessung der Kette geschah dadurch, dass er die beiden Gefässe mittelst des Froschpräparates verband.

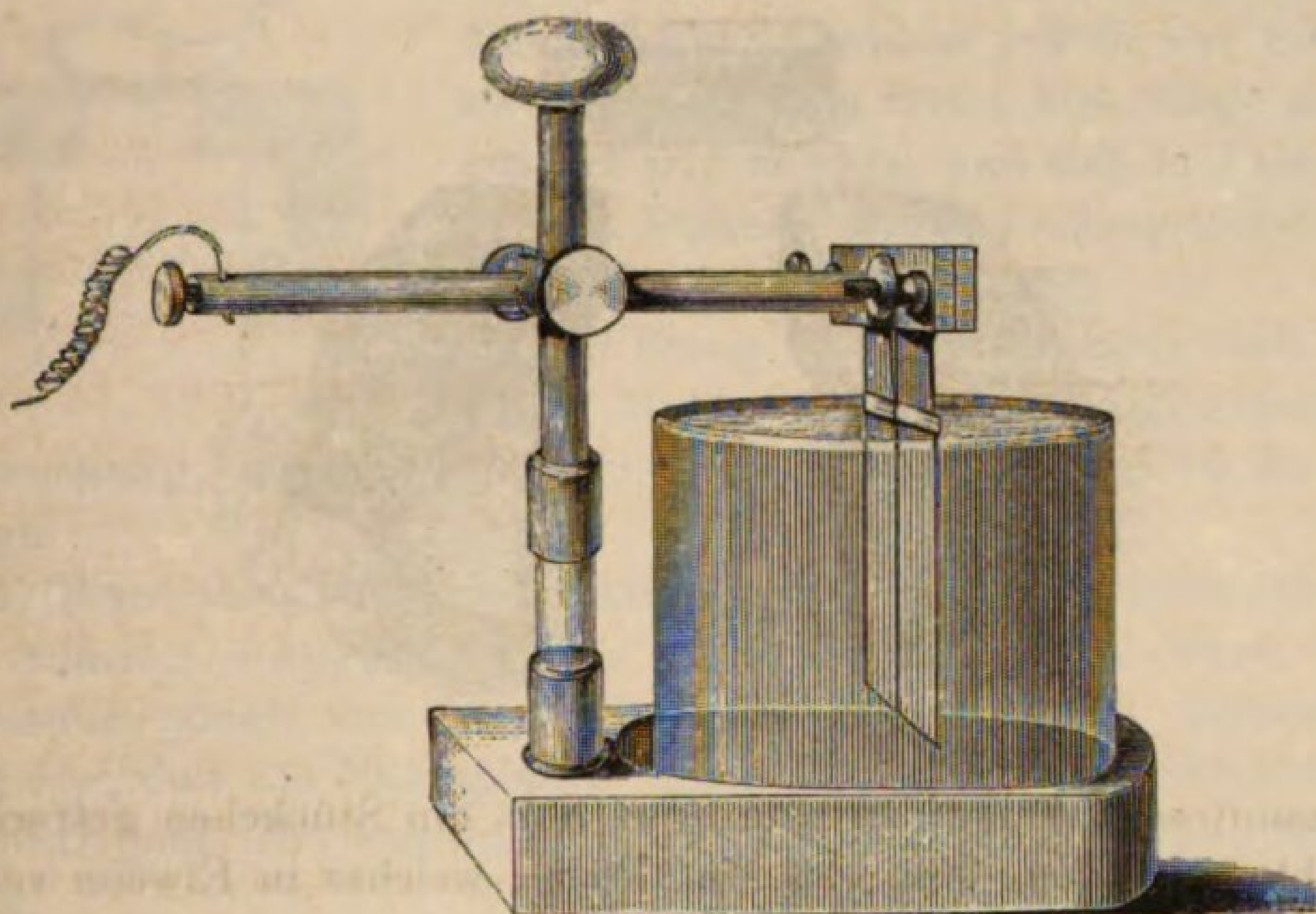
Die wichtigsten Resultate, die er auf diesem Wege erhielt, sind folgende: Man erhält einen Strom, eben so stark wie der des Galvani'schen Präparates, wenn man den ganzen enthäuteten Frosch zum Versuch verwendet und die Füsse in das eine, den Kopf oder Rücken in das andere Gefäss taucht. Mit dem Galvani'schen Präparat erhält man den Strom noch in ungeschwächter Stärke und immer in gleicher Richtung, wenn man, nachdem die Nerven ganz weggeschnitten sind, den Unterschenkel auf der einen, den Oberschenkel auf der anderen Seite eintaucht.

Du Bois-Reymond ging weiter. Er zeigte, das jeder einzelne Muskel elektromotorisch wirkt, und entwickelte alsbald das wahre Gesetz des Muskelstromes.

Den Versuchen über thierische Elektricität wusste Du Bois eine Sicherheit zu geben, wie man sie bis dahin noch nicht kannte. Zu seinen Versuchen über den Muskelstrom bediente er sich eines Multiplicators von 4600 Windungen. Mit jedem Ende des Multiplicatordrahtes ist eine Platinplatte in Verbindung gebracht, wie man es Fig. 556 sieht. Die Platte ist durch eine Klemme von Messing gehalten, die sich an einem

Ende eines horizontalen Messingstabes befindet, an dessen anderem Ende das eine Ende des Multiplicatordrahtes eingeschraubt ist. Die Platin-

Fig. 556.



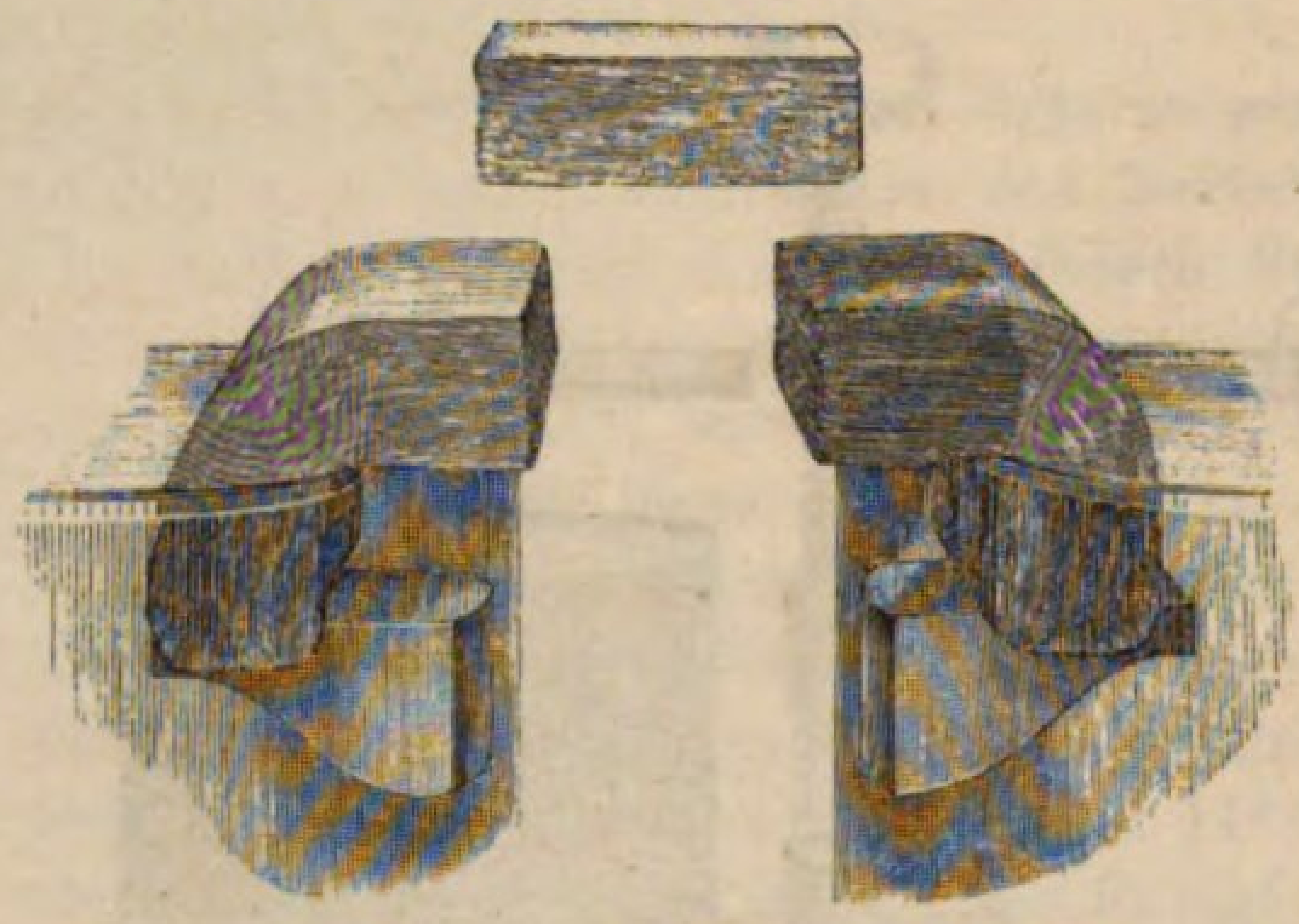
platte hängt in ein mit concentrirter Kochsalzlösung gefülltes Gefäss herab.

Jedes der beiden Multiplicatorenden ist auf diese Weise mit einer Platinplatte versehen, und die beiden Zuleitungsgefässe werden dicht neben einander gestellt. Man braucht diese Zuleitungsgefässe nur durch den zu prüfenden thierischen Körpertheil zu verbinden, um die Wirkung des Muskelstromes auf den Multiplicator zu erhalten.

Das unmittelbare Eintauchen der thierischen Theile in die Salzlösung ist jedoch nur bei gröberen Versuchen zulässig, weil bei feineren Untersuchungen das Anätzen der thierischen Theile durch concentrirte Salzlösung störend wirkt. Für diese Fälle wendet nun Du Bois Bäusche von Fliesspapier an. Es sind dies die Compressen oder Bäusche aus sehr vielen Lagen feinen Fliesspapiers, welche, mit der gesättigten Salzlösung getränkt, auf den Rand der Zuleitungsgefässe aufgelegt werden, wie Fig. 557 (a. f. S.) zeigt. Sie ruhen, ausser auf dem Rande der Gefässe selbst, innerhalb derselben noch auf gefirnissten Holzklötzchen, welche an die Wand der Gläser angekittet sind. Man kann diese Bäusche die Zuleitungsbäusche nennen. Die Schliessung der Kette wird durch einen dritten, gleichfalls mit der Salzlösung getränkten Bausch, den Schliessungsbausch, bewirkt, welcher auf die Zuleitungsbäusche gelegt wird. Um den auf Elektricitätserregung zu prüfenden thierischen Körper in die Kette einzuschalten, muss man natürlich erst den Schliessungsbausch entfernen. Nun darf man aber die thierischen Theile nicht unmittelbar auf die Zuleitungsbäusche legen, weil sonst das erwähnte Anätzen stattfinden würde, welches für sich schon Zuckungen hervorbringen kann. Um diese

unmittelbare Berührung zu hindern, legt Du Bois an derjenigen Stelle der Bäusche, wo die thierischen Körpertheile applicirt werden sollen, erst

Fig. 557.

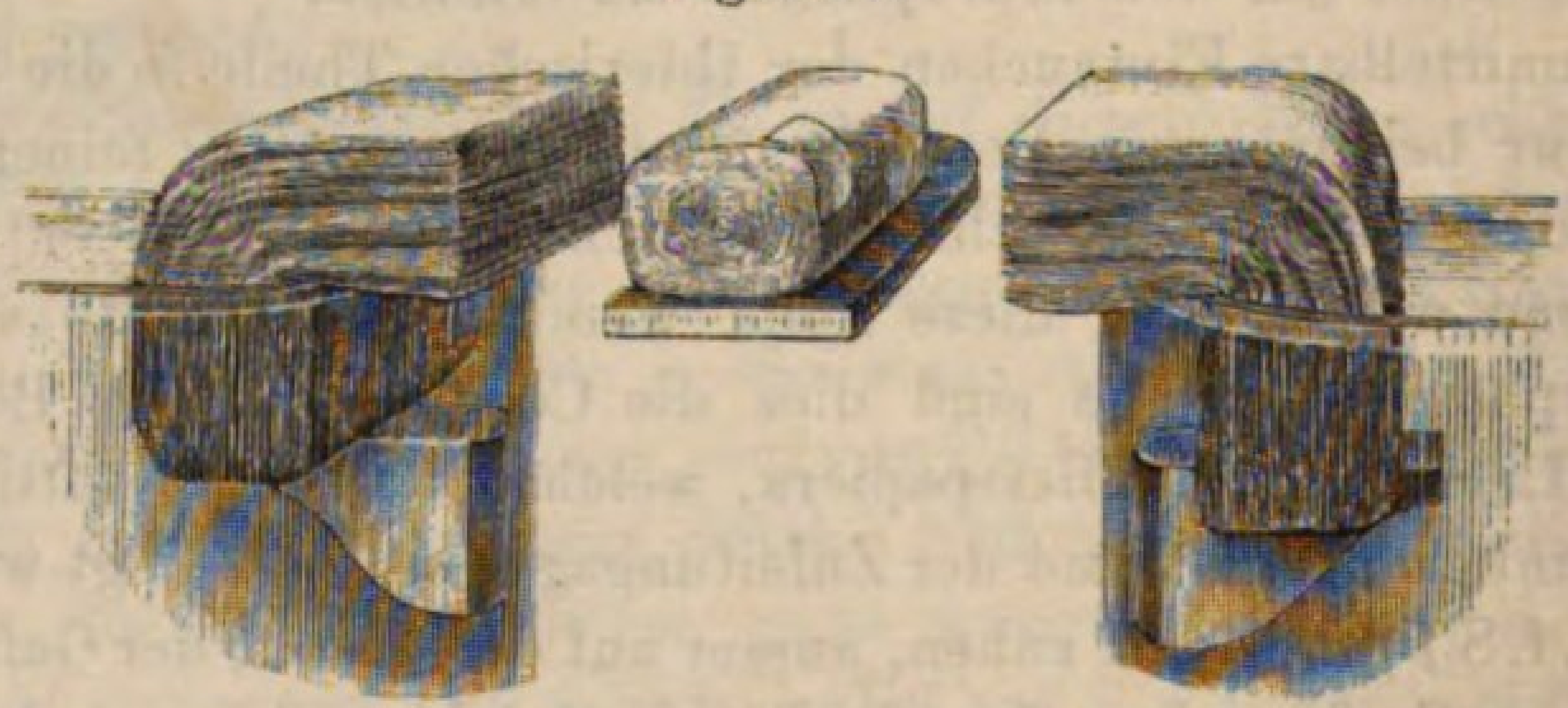


ein sogenanntes Eiweisshäutchen auf, d. h. ein Stückchen getrockneter Schweinsblase (20 Mm. lang, 13 Mm. breit), welches in Eiweiss vollständig aufgeweicht worden ist. Auf den Bausch kommt also das Eiweisshäutchen und auf dieses erst der thierische Elektromotor.

Zu manchen Versuchen ist noch ein Zwischenbausch nöthig, welcher zwischen den Bäuschen der Zuleitungsgefässe in der Weise angebracht ist, wie Fig. 558 zeigt.

Näheres über die bei diesen Versuchen zu beobachtenden Vorsichtsmaassregeln findet man ausführlich in Du Bois-Reymond's klassischem

Fig. 558.

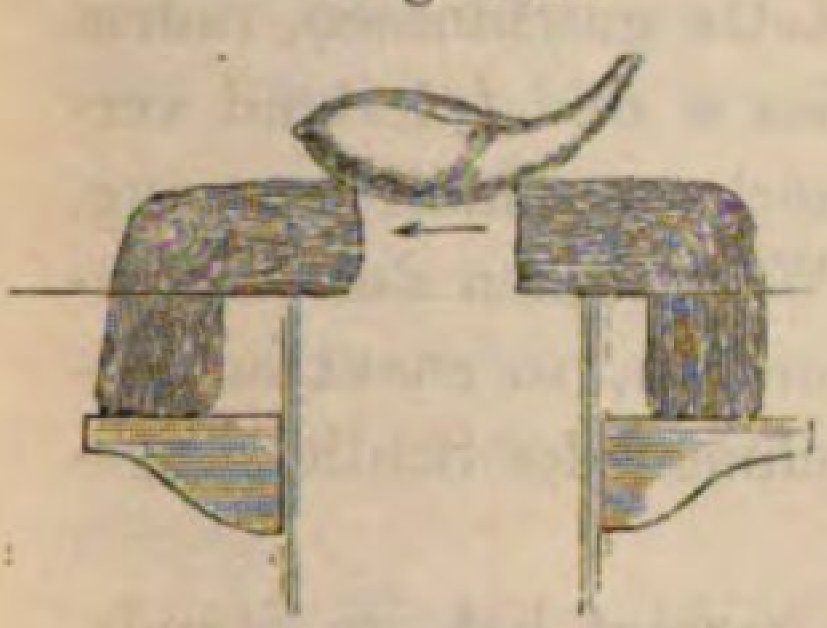


Werke „Untersuchungen über thierische Elektricität", Berlin 1848 und 1849; im Auszug in meinem „Bericht über die neuesten Fortschritte der Physik", Braunschweig 1849 bis 1852.

Sind die Zuleitungsgefässe mit Bäuschen versehen, so wird der Schliessungsbausch aufgelegt, damit etwaige Ungleichheiten im Polarisationszustande der Platinplatten sich ausgleichen können. Ist die Nadel wieder zur Ruhe gekommen und auf den Nullpunkt der Theilung zurückgekehrt, so wird der Schliessungsbausch entfernt, die Eiweisshäutchen aufgelegt und der Zwischenraum mit dem zu prüfenden Muskel, etwa mit

dem grossen Wadenmuskel (*Gastroknemius*) des Frosches überbrückt, wie Fig. 559 andeutet. Sogleich erfolgt ein bedeutender Ausschlag der Nadel. Lässt man den Muskel ruhig liegen, so bekommt die Nadel nun eine beständige Ablenkung, welche jedoch viel geringer ist, als man nach dem ersten Ausschlage zu glauben geneigt sein möchte, weil sich in Folge des primitiven Stromes starke Ladungen auf den Platinplatten entwickeln.

Fig. 559.



Der Strom des Gastroknemius wirft bei einem guten Multiplicator die Nadel anfangs gegen die Hemmung, während die beständige Ablenkung nur 10 bis 20 Grad beträgt.

Entfernt man nun den thierischen Elektromotor wieder, so wird ein dem früheren entgegengesetzter Ausschlag erfolgen, wenn man den Schliessungsbausch von Neuem auflegt. Dieser zweite Ausschlag rührt davon her, dass die Platinplatten durch den thierisch-elektrischen Strom galvanisch polarisirt worden sind und sich nun diese Ladung wieder ausgleicht.

Die Zuckung ohne Metalle kann man sehr sicher mit Hülfe der Du Bois'schen Bäusche in folgender Weise erhalten: Zwischen zwei Bäusche *a* und *b*, Fig. 560, ist ein Zwischenbausch *c* auf der einen Seite so eingeschoben, dass auf der anderen Seite der ganze Zwischenraum zwischen *a* und *b* frei bleibt. Der Zwischenraum zwischen *a* und *c* wird in der angegebenen Weise durch den Gastroknemius, der zwischen *b* und *c*

Fig. 560.

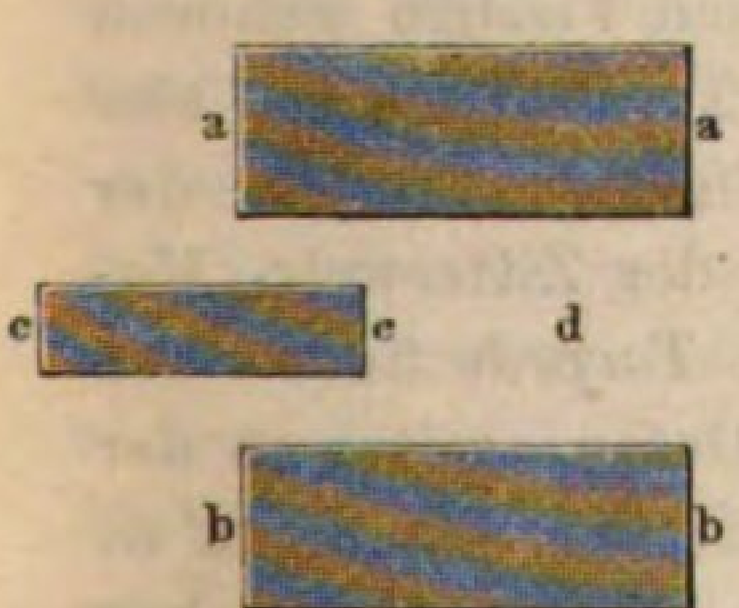
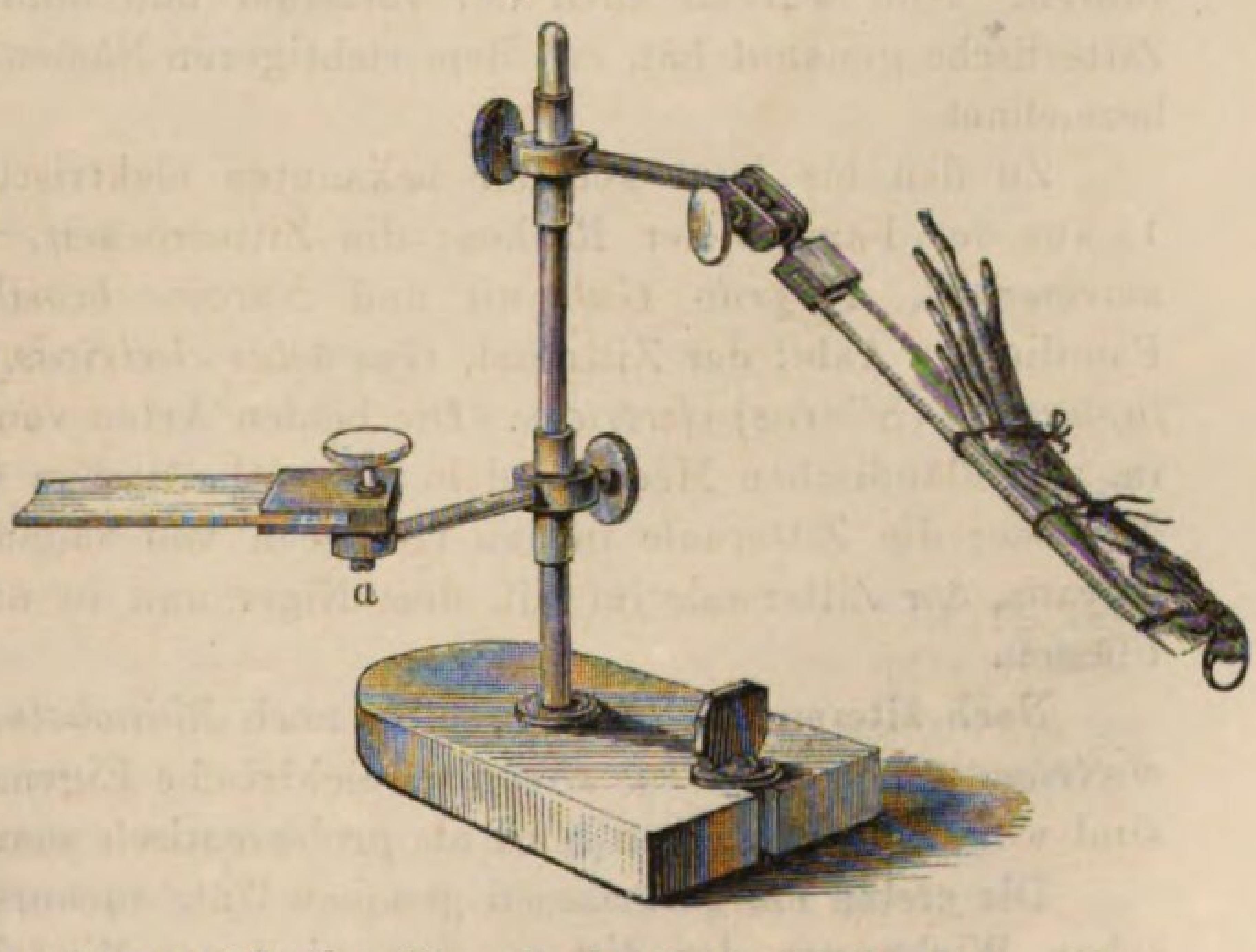


Fig. 561.



durch den Nerven des stromprüfenden Froschschenkels überbrückt. Man bindet zu diesem Zwecke den stromprüfenden Froschschenkel auf eine Glasplatte fest, welche durch ein Fig. 561 abgebildetes Stativ getragen

wird. Man bringt das Stativ und die Bäusche in die gehörige Nähe, um das freie Nervenende des stromprüfenden Froschschenkels bequem zwischen den Bäuschen *b* und *c* auflegen zu können.

Ist Alles gehörig vorbereitet, so wird die Kette geschlossen, indem man bei *d* einen Schliessungsbausch auflegt, welcher *a* und *b* leitend verbindet. Ist der stromprüfende Froschschenkel noch empfindlich genug, so zuckt er sowohl beim Auflegen als auch beim Wegnehmen des Schliessungsbausches; hat seine Empfindlichkeit abgenommen, so zuckt er entweder nur beim Auflegen oder nur beim Wegnehmen des Schliessungsbausches.

Auch die Nerven sind, wie Du Bois zuerst gezeigt hat, im Stande, einen elektrischen Strom zu erzeugen, welcher freilich viel schwächer ist als der Muskelstrom. Eine eingehendere Besprechung der Gesetze des Muskel- und Nervenstromes müssen wir physiologischen Werken überlassen.

199 **Elektrische Fische.** Man weiss schon seit langer Zeit, dass der Zitterrochen die Eigenschaft hat, der Hand, die ihn angreift, eigenthümliche Schläge zu ertheilen. Um diese Wirkungen zu erklären, nahm man früher an, dass der Zitterrochen lähmende Moleküle aussende, dass er wie eine Feder wirke, welche losgeschnellt, oder wie ein in Vibrationen befindlicher tönender Körper (Réaumur, *Académie des Sciences* 1714). Als aber Musschenbroeck zum ersten Male den Schlag einer Leydener Flasche verspürte, hatte er die glückliche Idee, ihn mit dem Schlage des Zitterrochens zu vergleichen und so zwei Erscheinungen, deren Ursprung ganz verschieden schien, auf eine gemeinschaftliche Ursache zurückzuführen. Nun wurden auch der Zitteraal und ähnliche Fische, die man Zitterfische genannt hat, mit dem richtigeren Namen elektrische Fische bezeichnet.

Zu den bis jetzt genauer bekannten elektrischen Fischen gehören 1. aus der Familie der Rochen: die Zitterrochen, *Torpedo narce*, *sive marmorata*, *Torpedo Galvanii* und *Narcine brasiliensis.* 2. Aus der Familie der Aale: der Zitteraal, *Gymnotus electricus*, der Zitterwels, *Malapterurus* (*Silurus*) *electricus.* Die beiden Arten von *Torpedo* finden sich im mittelländischen Meere und in dem atlantischen Ocean, selten in der Nordsee; die Zitteraale in den Landseen von Südamerika, besonders in Guyana, der Zitterwels im Nil, dem Niger und in anderen afrikanischen Flüssen.

Nach älteren Nachrichten sollen noch *Rhinobatus electricus*, *Tetrodon electricus* und *Trichiurus electricus* elektrische Eigenschaften haben, doch sind wohl diese Angaben noch als problematisch anzusehen.

Die ersten einigermaassen genauen Untersuchungen über die elektrischen Wirkungen des Zitterrochens sind von Walsh angestellt worden. Er stellte seine Versuche im Jahre 1772 an.

Wenn man durch den menschlichen Körper eine leitende Verbindung

zwischen dem Bauch und dem Rücken des Thieres herstellt, so erhält man eine dem Entladungsschlag der Leydener Flasche ähnliche Erschütterung. Am besten zeigt sich die Erscheinung, wenn man den Zitterrochen mit dem Bauch auf einen metallenen Teller legt, mit einer Hand den Teller und mit der anderen den Rücken des Thieres berührt. Dieser Schlag ist selbst durch eine Reihe von mehreren Personen noch fühlbar, von denen die erste den Fisch am Leib, die letzte am Rücken anfasst. Die geringste Unterbrechung der Leitung im Schliessungsbogen verhindert den Schlag.

Im Wasser sind die Schläge immer weniger intensiv als in der Luft, man erhält sie aber auf dieselbe Weise und unter denselben Bedingungen. Da das Wasser ein ziemlich guter Leiter ist, so begreift man, dass ein kräftiger Zitterrochen in die Ferne wirken kann, und dass es nicht mehr nöthig ist, ihn direct zu berühren. Walsh hat in der That beobachtet, dass der Zitterrochen auf einige Entfernung hin kleine Fische erschlägt, oder wenigstens betäubt.

Wenn der Zitterrochen einen Schlag giebt, so ist es stets ein willkürlicher Act; manchmal kann man ihn mehreremal hinter einander ohne Erfolg berühren; wenn man ihn aber reizt, indem man ihn in die Flossfedern kneift, so kann man fast immer sicher sein, verstärkte Schläge zu erhalten. Walsh hat manchmal an funfzig Entladungen in einer Minute gezählt.

J. Davy hat zuerst die Identität der Elektricität des Zitterrochens mit der Reibungs- und Berührungselektricität factisch dargethan, indem er mittelst derselben Stahlnadeln magnetisirte, die Magnetnadel ablenkte und chemische Wirkungen hervorbrachte.

Becquerel und Breschet haben mehrere interessante Beobachtungen an Zitterrochen von Chioggia nahe bei Venedig gemacht. Sie haben z. B. mit Hülfe eines guten Galvanometers dargethan, dass der positive Strom immer vom Rücken durch das Galvanometer zum Bauch geht; sie haben auch von Neuem bestätigt, dass der Zitterrochen willkürlich an den verschiedenen Stellen seines Körpers Schläge geben kann.

Matteucci, welcher ebenfalls interessante Versuche über die Zitterrochen des adriatischen Meeres gemacht hat, ist dahin gelangt, durch die Elektricität dieser Thiere vollkommen sichtbare Funken zu erhalten. Er applicirte zu diesem Zweck zwei metallische Armaturen, die eine auf dem Rücken, die andere auf dem Bauche des Fisches; mit jeder dieser Armaturen setzte er ein Goldblättchen in Verbindung und brachte dann die beiden Goldblättchen sehr nahe an einander; so oft nun das Thier gereizt wurde, sprang ein Funken zwischen den Goldblättchen über.

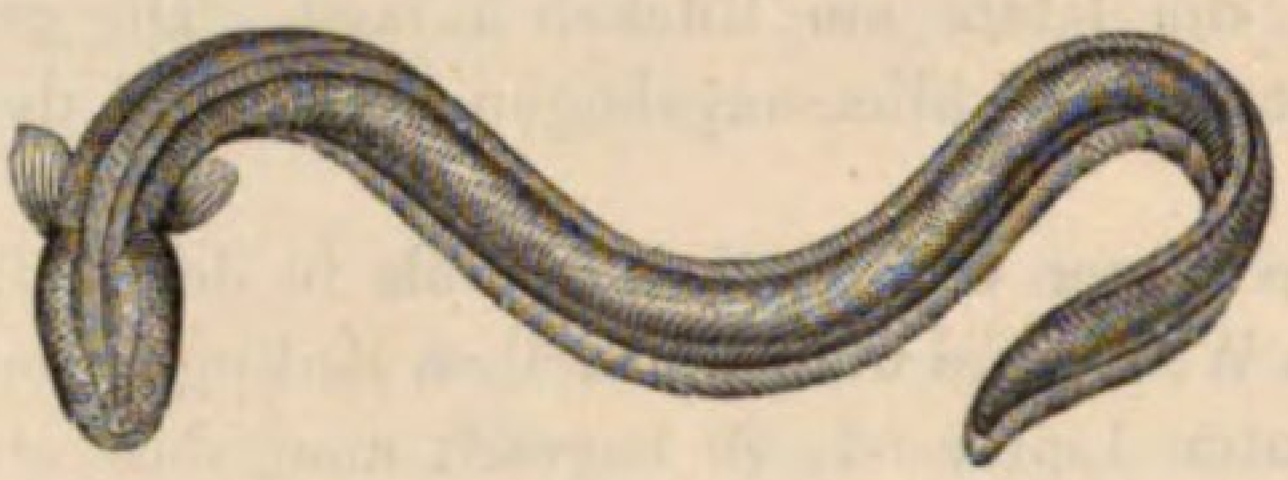
Matteucci fand auch die schon von Becquerel und Breschet gemachte Beobachtung bestätigt, dass der Rücken positiv, der Bauch negativ elektrisch ist.

Auch Linari hat in der neuesten Zeit diese Untersuchungen mit Erfolg fortgesetzt, er hat ebenfalls Funken zu gewinnen gewusst und

an einem empfindlichen Condensator Zeichen elektrischer Spannung erhalten.

Der Zitteraal, Fig. 562, welcher auch der surinamische Aal genannt wird, hat eine noch weit grössere elektrische Kraft als der Zitterrochen. Walsh liess sich Gymnoten von Surinam kommen, mit welchen er die Resultate bestätigte, die er einige Jahre vorher an dem Zitterrochen erhalten hatte; er machte aber ausserdem noch die wichtige Beobachtung, dass sich der Schlag des Zitteraals von einem Leiter zu einem anderen durch eine dünne Luftschicht hindurch fortpflanzen kann und dass man in diesem Falle einen elektrischen Funken überspringen sieht.

Fig. 562.



Humboldt hat in Amerika gemeinschaftlich mit Bonpland eine Menge Versuche mit Zitteraalen gemacht; wir wollen hier anführen, was er über die eigenthümliche Lebensart dieser Fische und über die Art sagt, wie sie gefangen werden.

„— Aber nicht die Krokodile und der Jaguar allein stellen den südamerikanischen Pferden nach; auch unter den Fischen haben sie einen gefährlichen Feind. Die Sumpfwasser von Bera und Rastro sind mit zahllosen elektrischen Aalen gefüllt, deren schleimiger, gelbgefleckter Körper aus jedem Theile die erschütternde Kraft nach Willkür aussendet. Diese Gymnoten haben 5 bis 6 Fuss Länge. Sie sind mächtig genug, die grössten Thiere zu tödten, wenn sie ihre nervenreichen Organe auf einmal in günstiger Richtung entladen. Die Steppenstrasse von Uritucu musste einst verändert werden, weil sie sich in solcher Menge in einem Flüsschen angehäuft hatten, dass jährlich vor Betäubung viele Pferde in der Furt ertranken. Auch fliehen alle anderen Fische die Nähe dieser furchtbaren Aale. Selbst den Angelnden am hohen Ufer schrecken sie, wenn die feuchte Schnur ihm die Erschütterung aus der Ferne zuleitet. So bricht elektrisches Feuer tief aus dem Schoosse der Gewässer aus.

„Ein malerisches Schauspiel gewährt der Fang der Gymnoten. Man jagt Maulthiere und Pferde in einen Sumpf, den die Indianer eng umzingeln, bis der ungewohnte Lärmen die muthigen Fische zum Angriff reizt. Schlangenartig sieht man sie auf dem Wasser schwimmen und sich verschlagen unter den Bauch der Pferde drängen. Von diesen erliegen viele unter der Stärke unsichtbarer Schläge. Mit gesträubter Mähne, schnaubend, wilde Angst im funkelnden Auge, fliehen andere das tobende Ungewitter. Aber die Indianer, mit langen Bambusstäben bewaffnet, treiben sie in die Mitte der Lache zurück.

„Allmälig lässt die Wuth des ungleichen Kampfes nach. Wie entladene Wolken zerstreuen sich die ermüdeten Gymnoten. Sie bedürfen einer langen Ruhe und einer reichlichen Nahrung, um zu sammeln, was

sie an galvanischer Kraft verschwendet haben. Schwächer und schwächer erschüttern nun allmälig ihre Schläge. Vom Geräusche der stampfenden Pferde erschreckt, nahen sie sich furchtsam dem Ufer, wo sie durch Harpunen verwundet und mit dürrem, nicht leitendem Holze auf die Steppe gezogen werden.

„Dies ist der wunderbare Kampf der Pferde und Fische. Was unsichtbar die lebendige Waffe dieser Wasserbewohner ist, was, durch die Berührung feuchter und ungleichartiger Theile erweckt, in allen Organen der Thiere und Pflanzen umtreibt, was die weite Himmelsdecke donnernd entflammt, was Eisen an Eisen bindet und den stillen wiederkehrenden Gang der leitenden Nadel lenkt, Alles, wie die Farbe des getheilten Lichtstrahls, fliesst aus einer Quelle; Alles schmilzt in eine ewige, allverbreitete Kraft zusammen."

Das Organ, in welchem sich die Elektricität entwickelt, hat bei den verschiedenen elektrischen Fischen im Wesentlichen dieselbe Textur, dasselbe Ansehen, obgleich seine Gestalt, seine Grösse und seine Anordnung verschieden ist. Wir wollen versuchen, eine Idee von dem Organe des Zitterrochens zu geben, welches am genauesten untersucht worden ist.

Fig. 563.



Die Fig. 563 stellt einen Zitterrochen von oben gesehen dar, welcher auf der einen Seite geöffnet ist, so dass man das elektrische Organ sieht. Es geht vorn bis dicht an den Vorderrand des Kopfes, seine obere Fläche stösst mittelst einer faserigen Haut an die Haut des Rückens, seine untere an die des Bauches, seine äussere Fläche ruht an dem Knorpel der Seitenflosse, seine innere an der Musculatur des Kopfes und des vorderen Theiles des Rumpfes. Von oben oder unten gesehen, zeigt das elektrische Organ polygonale oder rundliche Abtheilungen, Fig. 564; von der Seite aber sieht man parallele Streifen, wie Fig. 565 zeigt. Das ganze Organ besteht also aus einer Menge polygonaler oder rundlicher Säulchen, deren Axe die Richtung vom Bauche zum Rücken hat. Die Randbegrenzung jeder Säule bildet eine etwas dichtere sehnigte Membran, welche, wie es scheint, dieselben Dienste leistet, wie die Glasstäbe, zwischen welchen die galvanische

Fig. 564.

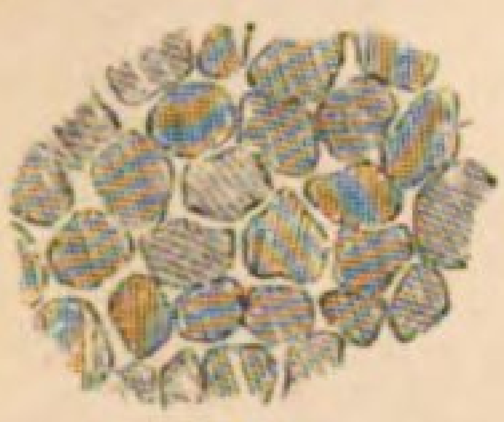


Fig. 565.



Säule aufgebaut wird. Jedes Säulchen besteht aus einer Menge auf einander geschichteter feiner Blättchen; diese kleinen, bald ebenen, bald gebogenen Blättchen sind durch sehr klebrige Schleimschichten von einander getrennt, und somit bieten diese Säulchen in ihrer Construction eine grosse Aehnlichkeit mit einer aufgebauten galvanischen Säule dar.

Man zählt bei dem Zitterrochen gewöhnlich 400 bis 500 solcher Säulchen auf jeder Seite desselben; Hunter zählte deren sogar bei einem sehr grossen Exemplare von $4^1/_2$ Fuss Länge 1184. Vier starke Nervenbündel, *d*, *e*, *f* und *g*, Fig. 563, vertheilen sich in das elektrische Organ.

Bei dem Zitteraal liegt das elektrische Organ in dem sehr langen Schwanze. Bei diesem Thiere nämlich liegt der After so weit nach vorn, dass der Schwanz des Gymnotus fast $4^1/_2$mal so lang ist als Kopf und Rumpf zusammengenommen; das elektrische Organ liegt fast der ganzen Länge des Schwanzes nach auf jeder Seite und unterhalb der Wirbelsäule, so dass der elektrische Apparat dieses Thieres eine bedeutende Ausdehnung hat, woher es denn auch kommt, dass der Zitteraal so ausserordentlich starke Schläge ertheilen kann.

Bei dem Gymnotus stehen die Säulchen, welche das elektrische Organ bilden, nicht senkrecht wie beim Zitterrochen, sondern sie laufen in der Richtung des Schwanzes fort, so dass die Scheibchen, aus denen sie bestehen, senkrecht stehen; daher kommt es denn auch, dass beim Zitteraal der positive Strom in der Richtung vom Kopfe nach dem Schwanze, also nicht wie beim Zitterrochen vom Rücken zum Bauche geht.

FÜNFTES BUCH.

VON DER WÄRME.

Erstes Capitel.

Ausdehnung durch die Wärme.

Das Thermometer. Unser Gefühlsvermögen unterscheidet verschiedene Zustände an den Körpern, die wir mit heiss, warm, kalt etc. bezeichnen. Wenn ein Körper, den wir kalt nennen, warm wird, wenn er heiss wird, so nimmt er auch an Volumen zu, er dehnt sich aus. 200

Die Ursache, welche diese Ausdehnung der Körper bewirkt, und welche zugleich die verschiedenen eben erwähnten Empfindungen unseres Gefühlsvermögens veranlasst, nennt man Wärme.

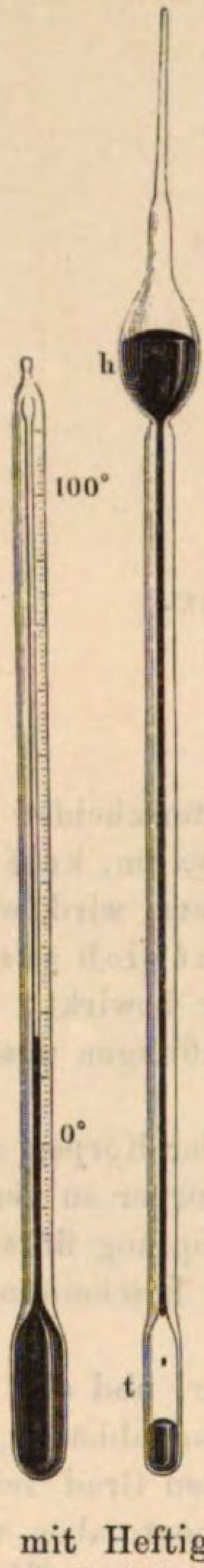
Die Wärme bewirkt nicht allein eine Ausdehnung der Körper, sondern sie ist auch im Stande, die Aggregatzustände der Körper zu verändern, sie bewirkt die Schmelzung fester und die Verdampfung flüssiger Körper. Wir wollen nun im Folgenden die Gesetze dieser Erscheinungen näher betrachten.

Da alle Körper durch die Wärme ausgedehnt werden, und also das Volumen eines Körpers von dem Grade seiner Erwärmung abhängt, so kann die Ausdehnung eines Körpers dazu dienen, um den Grad seiner Erwärmung, seine Temperatur, zu messen. Die Instrumente aber, welche man anwendet, um die Temperatur zu bestimmen, nennt man Thermometer.

Fig. 566 (a. f. S.) stellt ein Quecksilberthermometer dar. An dem unteren Ende einer engen Glasröhre befindet sich ein kugelförmiges oder cylindrisches Gefäss; dies Gefäss und ein Theil der Röhre ist mit Quecksilber gefüllt. Durch Erwärmung vermehrt sich das Volumen des Quecksilbers, es steigt in der Röhre; wenn die Kugel erkaltet, vermindert sich das Volumen des Quecksilbers wieder, der Gipfel der Quecksilbersäule in der Röhre sinkt.

Bei gleicher Temperatur nimmt der Gipfel der Quecksilbersäule stets dieselbe Stelle in der Röhre ein. Je wärmer das Quecksilber im Gefäss wird, desto höher wird der Gipfel der Quecksilbersäule im Rohre steigen. Um aber ein solches Instrument zur Messung von Temperaturen benutzen zu können, muss es erst graduirt werden.

Fig. 566. Fig. 567.



Zur Construction von Thermometern darf man natürlich nur solche Glasröhren anwenden, welche ihrer ganzen Länge nach gleich weit sind, was man daran erkennt, dass ein Quecksilberfaden, den man in einer solchen Röhre hin und her laufen lässt, an allen Stellen derselben gleiche Länge hat.

Um ein Thermometer zu machen, wird an eine enge, ihrer ganzen Länge nach gleich weite Glasröhre ein Gefäss *t*, Fig. 567, angeblasen und oben ein weiteres mit einem offenen Röhrchen endigendes Gefäss *h* angelöthet. Um den ganzen Apparat mit Quecksilber zu füllen, werden zunächst *h* und *t* über der Weingeistlampe erwärmt und dadurch die Luft, welche sie enthalten, ausgedehnt. Kehrt man nun die ganze Vorrichtung um, die Spitze von *h* in ein Gefäss mit Quecksilber tauchend, so wird beim Erkalten von *h* und *t* die in ihnen enthaltene Luft sich zusammenziehen und das Gefäss *h* wird sich zum Theil mit Quecksilber füllen. — Nun wird der Apparat wieder in aufrechte Stellung gebracht und *t* abermals erwärmt, um die in ihm noch enthaltene Luft theilweise auszutreiben, welche in Form von Bläschen durch das Quecksilber in *h* entweicht. Beim Erkalten füllt sich dann ein Theil des Gefässes *t* mit Quecksilber, welches aus *h* herabsteigt, um den Raum der ausgetriebenen Luft einzunehmen. Bei abermaliger Erwärmung des Gefässes *t* wird von Neuem ein Theil der eingeschlossenen Luft ausgetrieben, die Erwärmung wird aber jetzt so weit fortgesetzt, bis das Quecksilber in *t* ins Kochen kommt, und nun nehmen die mit Heftigkeit entweichenden Dämpfe des Quecksilbers die noch übrige Luft vollständig mit fort. Beim Erkalten verdichten sich die Dämpfe in *t*, und aus *h* sinkt das Quecksilber herab, um *t* vollständig auszufüllen.

Ist auf diese Weise das Gefäss *t* sammt der Röhre mit Quecksilber gefüllt und der Apparat vollständig erkaltet, so wird das überflüssige Quecksilber aus *h* ausgegossen und dann die Röhre dicht unter diesem Gefässe *h* vor der Glasbläserlampe zu einer feinen Spitze ausgezogen.

Ehe das Thermometer verschlossen wird, muss es regulirt werden, d. h. man erwärmt die Kugel noch etwas über die höchste Temperatur,

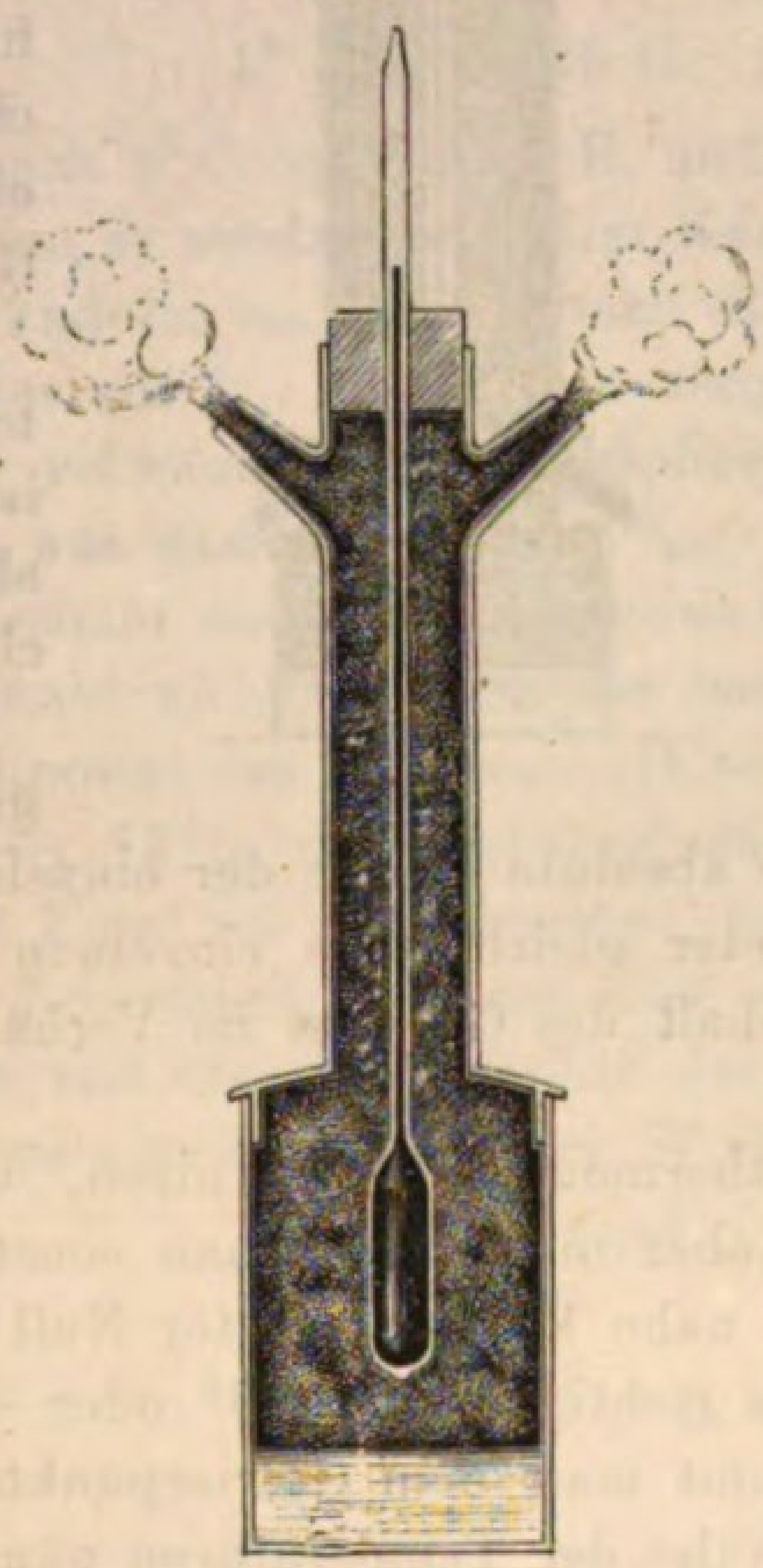
welcher das Thermometer ausgesetzt werden soll, und schmilzt dann die Spitze der Röhre zu, während dieselbe vollständig mit Quecksilber gefüllt ist.

Das Graduiren der Thermometer besteht darin, dass man zwei feste Punkte auf der Röhre markirt und den Zwischenraum (den Fundamentalabstand) in gleiche Theile theilt. Für die festen Punkte nimmt man den Gefrierpunkt und den Siedepunkt des Wassers. Um den Gefrierpunkt zu bestimmen, steckt man die Thermometerkugel und die Röhre, soweit das Quecksilber in derselben reicht, in ein Gefäss mit fein gestossenem Eise oder Schnee, Fig. 568. Wenn die Temperatur der Umgebung höher ist als der Gefrierpunkt, so schmilzt das Eis, und die Masse nimmt die unveränderliche Temperatur des Gefrierpunktes an. Bald nimmt auch das Thermometer diese Temperatur an und bleibt nun vollkommen stationär; man hat alsdann nur mit Genauigkeit den Punkt der Röhre zu markiren, wo gerade der Gipfel der Quecksilbersäule steht. Man bezeichnet diesen Punkt zuerst mit Tusch und alsdann mit einem Diamant.

Fig. 568.



Fig. 569.



Um den Siedepunkt zu bestimmen, nimmt man ein Gefäss mit langem Halse, Fig. 569, in welchem man destillirtes Wasser zum Kochen bringt; nachdem es einige Zeit gekocht hat, sind alle Theile des Gefässes gleichmässig erwärmt und der Dampf entweicht durch die Seitenöffnungen; das Thermometer ist alsdann von Dampf umgeben, dessen Temperatur dieselbe ist wie die der obersten Wasserschicht. Die Quecksilbersäule steigt in der Röhre bald bis zu einem Punkte, auf dem es fest stehen bleibt und den es nicht überschreitet. Man bezeichnet diesen Punkt wie den Gefrierpunkt. Wenn in diesem Augenblicke die Barometerhöhe nicht gerade 760 Millimeter ist, so ist eine Correction anzubringen, deren Werth weiter unten, wo vom Sieden die Rede sein wird, angegeben werden soll.

Zur Bestimmung des Siedepunkts kann man auch die aus der Abbildung schon hinlänglich verständlichen Apparate, Fig. 570 oder Fig. 571 (a. f. S.) anwenden.

Der Zwischenraum zwischen den beiden festen Punkten wird nun in eine bestimmte Anzahl gleicher Theile getheilt, und so erhält man die Thermometerscala.

Alle Thermometer, welche auf diese Weise construirt sind und bei denen der Fundamentalabstand in eine gleiche Anzahl von Theilen getheilt ist, sind vergleichbare Instrumente, d. h. sie zeigen bei gleichen Temperaturen eine gleiche Zahl von Graden.

Fig. 570.

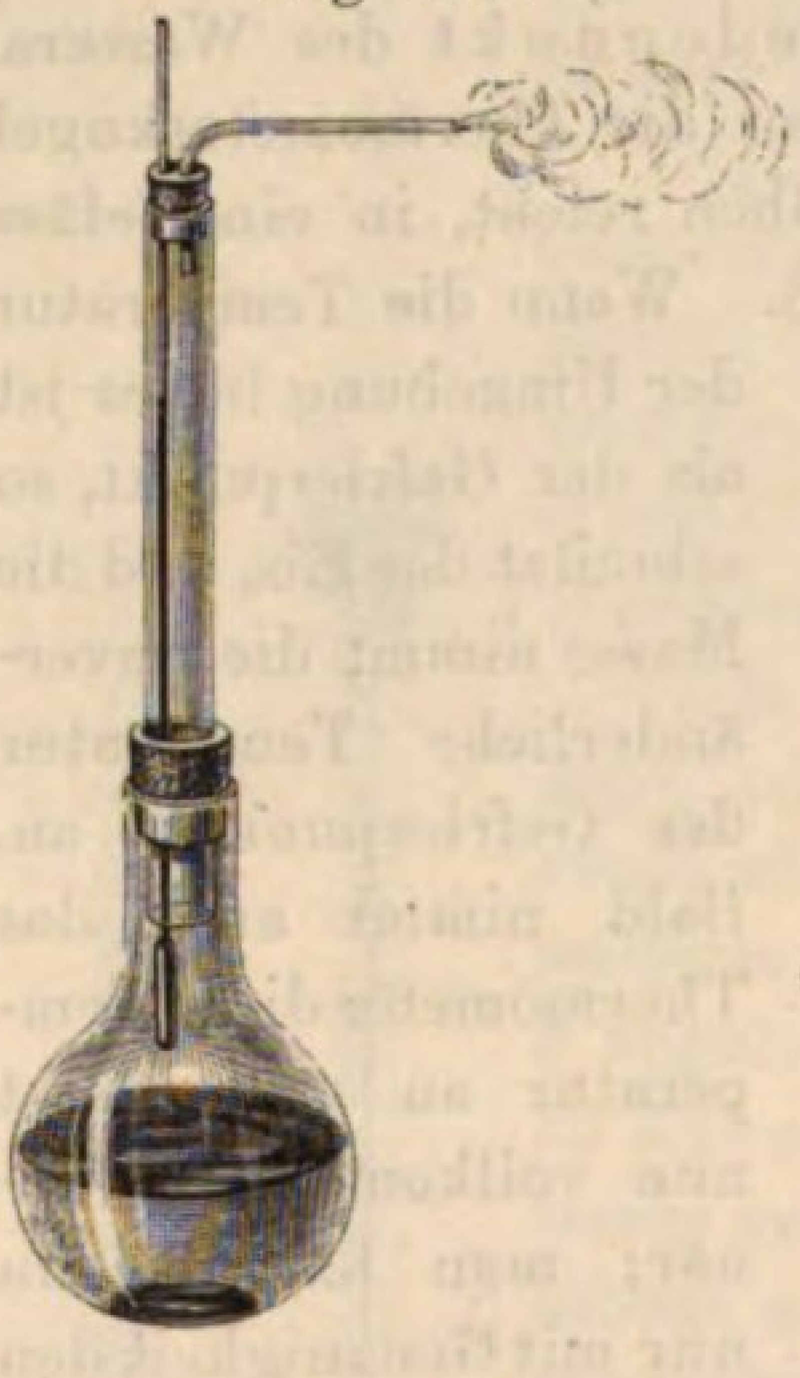
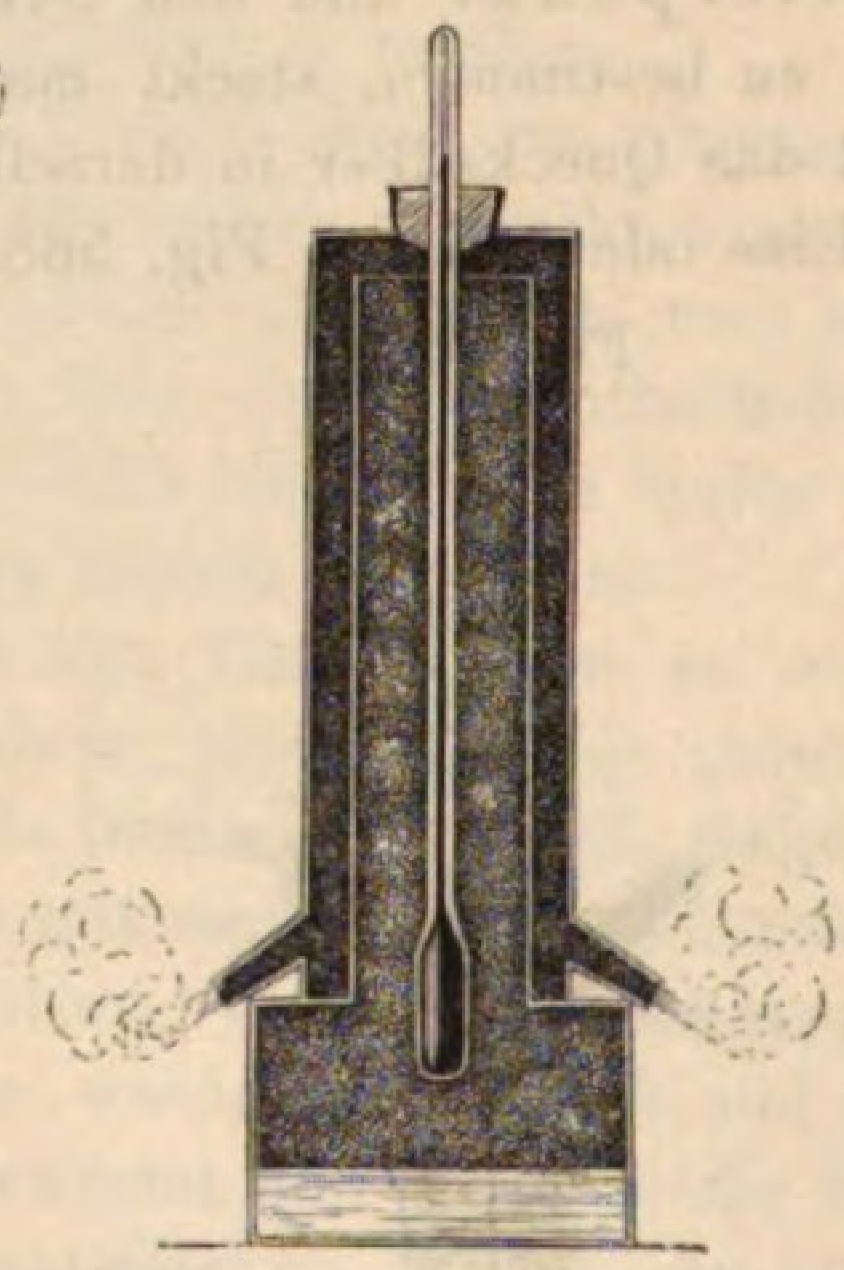


Fig. 571.



Beim Centesimalthermometer ist der Fundamentalabstand in 100 gleiche Theile getheilt.

Die absolute Länge des Fundamentalabstandes, also auch die absolute Länge der einzelnen Grade ist keineswegs für alle Thermometer gleich. Die einzelnen Grade werden um so länger, je grösser der Inhalt des Gefässes im Verhältniss zum Durchmesser der Röhre ist.

Man kann Quecksilberthermometer construiren, welche bis zu 360 dieser Grade gehen, weiter aber nicht, weil man sonst dem Siedepunkte des Quecksilbers (400°) zu nahe kommt. Unter Null sind die Angaben des Quecksilberthermometers richtig bis — 30° oder — 35°. Bei noch geringerer Temperatur kommt man dem Gefrierpunkte des Quecksilbers (— 40°) zu nahe. In der Nähe der Temperaturen nämlich, bei welchen die Körper ihren Aggregatzustand ändern, ist ihre Ausdehnung nicht mehr regelmässig.

Man hat beobachtet, dass bei vielen Thermometern der Nullpunkt mit der Zeit steigt, als ob die Kugel kleiner geworden wäre. Man hat dies besonders bei solchen Thermometern bemerkt, bei welchen über der Quecksilbersäule sich ein leerer Raum befindet. Die Ursache dieser Verrückung des Nullpunkts ist demnach wahrscheinlich der Druck der äusseren Luft, dem von innen kein Gegendruck entgegenwirkt, und der demnach die Kugel bis zu einer gewissen Grenze zusammendrückt. Es ist deshalb zu rathen, die Thermometer, nachdem man sie zugeschmolzen hat, einige Monate liegen zu lassen, bevor man sie graduirt. Auch darf man nicht versäumen, von Zeit zu Zeit die Richtigkeit des Nullpunkts zu prüfen.

Nicht bei allen Thermometern ist der Fundamentalabstand in 100

Grade getheilt. In Deutschland und Frankreich ist das Réaumur'sche Thermometer noch sehr verbreitet, bei welchem dieser Abstand in 80 Grade getheilt ist, obgleich man sich bei wissenschaftlichen Untersuchungen jetzt fast allgemein des von Celsius zuerst angegebenen hunderttheiligen Thermometers bedient. Es ist jedoch leicht, Celsius' sche Grade auf Réaumur'sche zu reduciren, und umgekehrt; denn da

$$100^0 \text{ C.} = 80^0 \text{ R.},$$

so ist

$$1^0 \text{ C.} = 0{,}8^0 \text{ R.}$$

und

$$1^0 \text{ R.} = 1{,}25 \text{ C.}$$

Es sind demnach x^0 C. $= x\,.\,0{,}8$ R. und n^0 R. $= n\,.\,1{,}25^0$ C. Man kann dies in Worten so ausdrücken: Um Réaumur'sche Grade in Celsius'sche zu verwandeln, multiplicirt man die Zahl der Réaumur'schen Grade mit 1,25 oder mit $^5/_4$. Will man umgekehrt Celsius'sche Grade in Réaumur'sche verwandeln, so multiplicirt man die gegebene Gradzahl mit 0,8 oder, was dasselbe ist, mit $^4/_5$.

In England bedient man sich ausschliesslich der Fahrenheit'schen Seala, deren Nullpunkt nicht mit dem der beiden eben erwähnten zusammenfällt. Der Nullpunkt des Fahrenheit'schen Thermometers trifft mit dem Theilstriche — $17^7/_9$ der Celsius'schen Scala zusammen. Der Schmelzpunkt des Eises ist auf derselben mit 32, der Siedepunkt des Wassers mit 212 bezeichnet, so dass also der Zwischenraum zwischen dem Gefrierpunkte und dem Siedepunkte des Wassers hier in 180 Grade getheilt ist. Es sind also dem absoluten Werthe nach

$$180^0 \text{ F.} = 100^0 \text{ C.},$$

mithin

$$1^0 \text{ F.} = {}^5/_9{}^0 \text{ C.}$$

und

$$1^0 \text{ C.} = {}^9/_5{}^0 \text{ F.}$$

Um jedoch die Angaben des einen dieser Thermometer auf die des anderen zu reduciren, hat man noch zu berücksichtigen, dass die Nullpunkte derselben nicht zusammenfallen. Will man Fahrenheit'sche Grade in Celsius'sche verwandeln, so hat man von der gegebenen Gradzahl 32 abzuziehen und den Rest mit $^5/_9$ zu multipliciren. Es sind demnach

$$x^0 \text{ F.} = (x - 32)\, {}^5/_9{}^0 \text{ C.}$$

Will man Celsius'sche Grade in Fahrenheit'sche verwandeln, so multiplicirt man mit $^9/_5$ und addirt zum Product 32. Es sind demnach

$$y^0 \text{ C.} = (y\,.\,{}^9/_5 + 32^0) \text{ F.}$$

Zur leichteren Vergleichung der verschiedenen Scalen mag folgende Tabelle dienen:

Celsius.	Réaumur.	Fahrenheit.
− 20	− 16	− 4
− 10	− 8	+ 14
0	0	32
+ 10	+ 8	50
20	16	68
30	24	86
40	32	104
50	40	122
60	48	140
70	56	158
80	64	176
90	72	194
100	80	212

Als thermometrische Flüssigkeit wird vorzugsweise Quecksilber angewendet, welches zu diesem Zwecke am geeignetsten ist, weil sein Siedepunkt sehr hoch und sein Gefrierpunkt sehr niedrig ist. Aus später zu besprechenden Gründen ist Wasser als thermometrische Flüssigkeit unbrauchbar. Weingeistthermometer sind vorzugsweise für sehr niedrige Temperaturen geeignet; sie dürfen höchstens bis + 50° C. gehen. Ihre Graduirung kann deshalb auch nicht nach der oben angegebenen Methode, sondern nur durch Vergleichung mit einem Quecksilberthermometer ausgeführt werden.

201 **Der Ausdehnungscoëfficient.** Wenn ein fester Körper sich ausdehnt, so kann es sich entweder um die Vergrösserung seiner Längendimensionen, seine lineare Ausdehnung, oder um die Vergrösserung seines Rauminhaltes, seine cubische Ausdehnung, handeln. Betrachten wir zunächst die lineare Ausdehnung.

Die Zahl, welche angiebt, um den wie vielten Theil seiner bei 0° gemessenen Länge sich ein fester Körper ausdehnt, wenn er von 0° bis 100° erwärmt wird, wird der Ausdehnungscoëfficient dieses Körpers genannt.

Wenn z. B. ein Eisenstab bei 0° die Länge von 2 Metern hat und auf 100° C. erwärmt sich um 0,0024 Meter ausdehnt, so ist der Ausdehnungscoëfficient des Eisens $\frac{0,0024}{2} = 0,0012$.

Bezeichnen wir allgemein mit l die Länge eines Körpers bei 0°, mit

b die Verlängerung, welche er bei einer Temperaturerhöhung von 0 bis 100⁰ erleidet, mit r den Ausdehnungscoëfficienten, so ist

$$r = \frac{b}{l}.$$

Wie die Erfahrung lehrt, dehnen sich fast alle festen Körper, wenigstens innerhalb der Gränzen von 0^0 bis 100^0, regelmässig aus, d. h. ihre Ausdehnung ist der Zunahme der Temperatur proportional. Wenn also r der Ausdehnungscoëfficient für eine Temperaturerhöhung von 0^0 bis 100^0 C. ist, so ist der auf eine Temperaturerhöhung von 1^0 bezogene Ausdehnungscoëfficient gleich $\frac{r}{100}$. Bezeichnen wir mit l_0 die Länge eines Körpers bei 0^0, so ist seine Länge bei 1^0 gleich $l_0\left(1 + \frac{r}{100}\right)$. Bei einer Temperatur von t^0 aber ist seine Länge

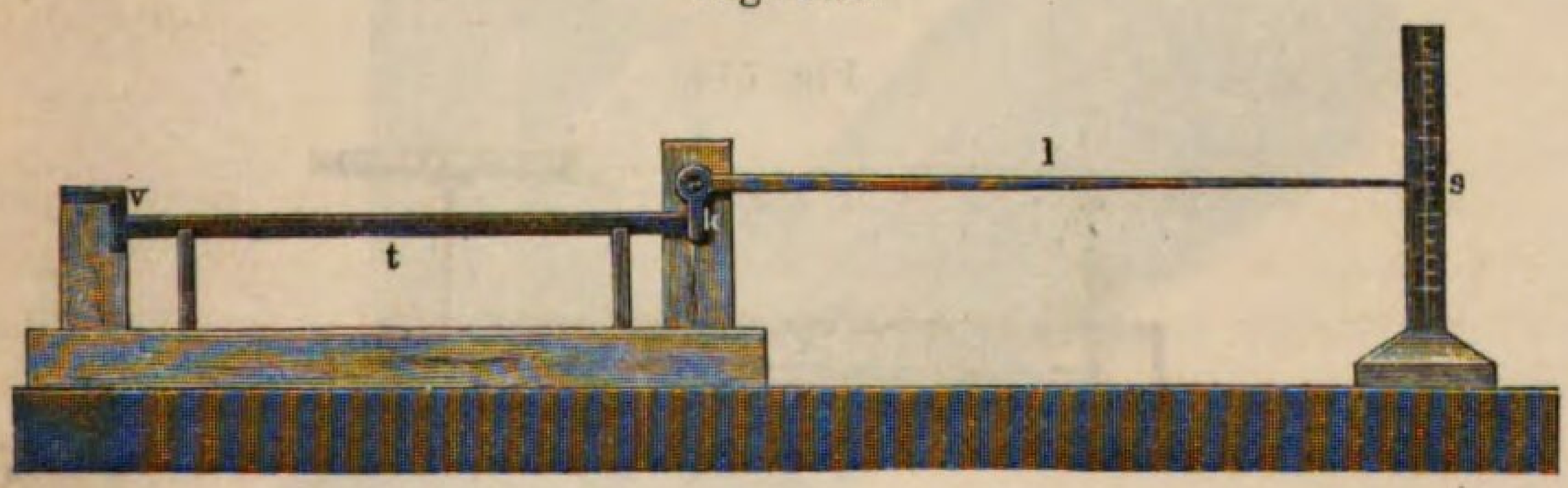
$$l_t = l_0\left(1 + \frac{r}{100}\,t\right).$$

Wenn drei der vier Grössen l_0, l_t, r und t gegeben sind, so kann man die vierte berechnen.

Häufig wird auch die Grösse $\frac{r}{100}$ als Ausdehnungscoëfficient bezeichnet.

Messung der linearen Ausdehnung. Weil die Ausdehnung fester Körper durch die Wärme sehr gering ist, so muss man auf Mittel sinnen, durch welche sie dem Auge vergrössert wird. Dies geschieht z. B. beim Hebelpyrometer, Fig. 572. Die Stange t, deren Ausdeh- 202

Fig. 572.



nung man beobachten will, steht mit ihrem einen Ende bei v gegen eine feste Widerlage an; das andere Ende des Stabes aber stösst gegen den kürzeren Arm k eines Winkelhebels an, dessen längerer Arm l auf eine Scala bei s zeigt. Wenn die Stange t, welche auf zwei passend angebrachten Stützen frei aufliegt, erwärmt wird, so sieht man das Ende des langen Hebels l an der Scala s in die Höhe gehen.

Wenn es sich nur darum handelt, die Ausdehnung fester Körper durch die Wärme sichtbar zu machen, so kann die Erwärmung der

Stange t durch untergesetzte Gas- oder Weingeistlampen bewerkstelligt werden. Wird dagegen die Messung der Ausdehnung für eine bestimmte Temperaturerhöhung beabsichtigt, so muss der Apparat so eingerichtet sein, dass sich der Stab in einem mit Wasser oder Oel gefüllten Troge befindet, dessen Temperatur auf einen mit dem Thermometer zu bestimmenden Grad erhöht wird.

Der Weg, welchen das freie Ende des Hebels l zurücklegt, wenn die Temperatur der Stange t um eine bestimmte Anzahl von Graden erhöht wird, ist um so grösser, je länger l im Vergleich zu k ist. Um aber den Hebelarm l recht lang machen zu können, müsste man ihn aus einer Substanz von geringem specifischen Gewicht verfertigen. Lavoisier und Laplace haben den materiellen Hebel l durch die gewichtlose Visirlinie eines Fernrohrs ersetzt, wie durch Fig. 573 und Fig. 574 erläutert wird.

Eine aus dem zu prüfenden Material verfertigte Stange a, Fig. 574, lag horizontal auf zwei Querstäben, über welche sie frei hingleiten konnte.

Fig. 573.

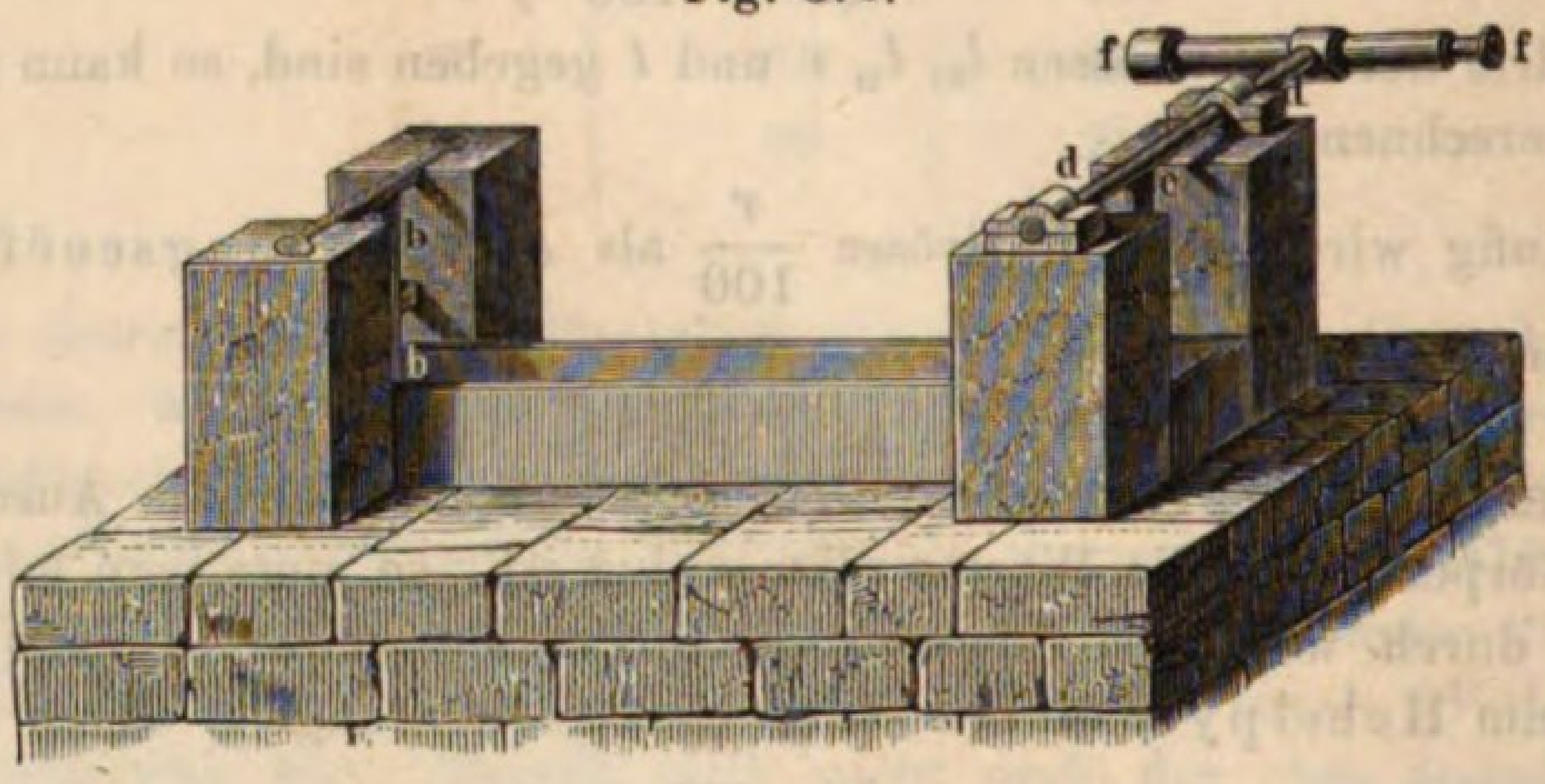
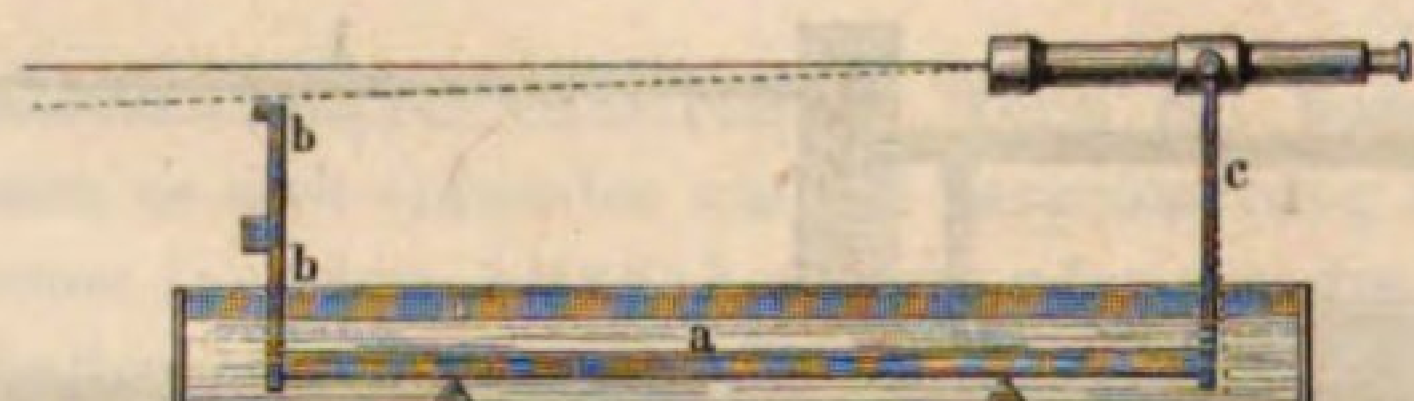


Fig. 574.



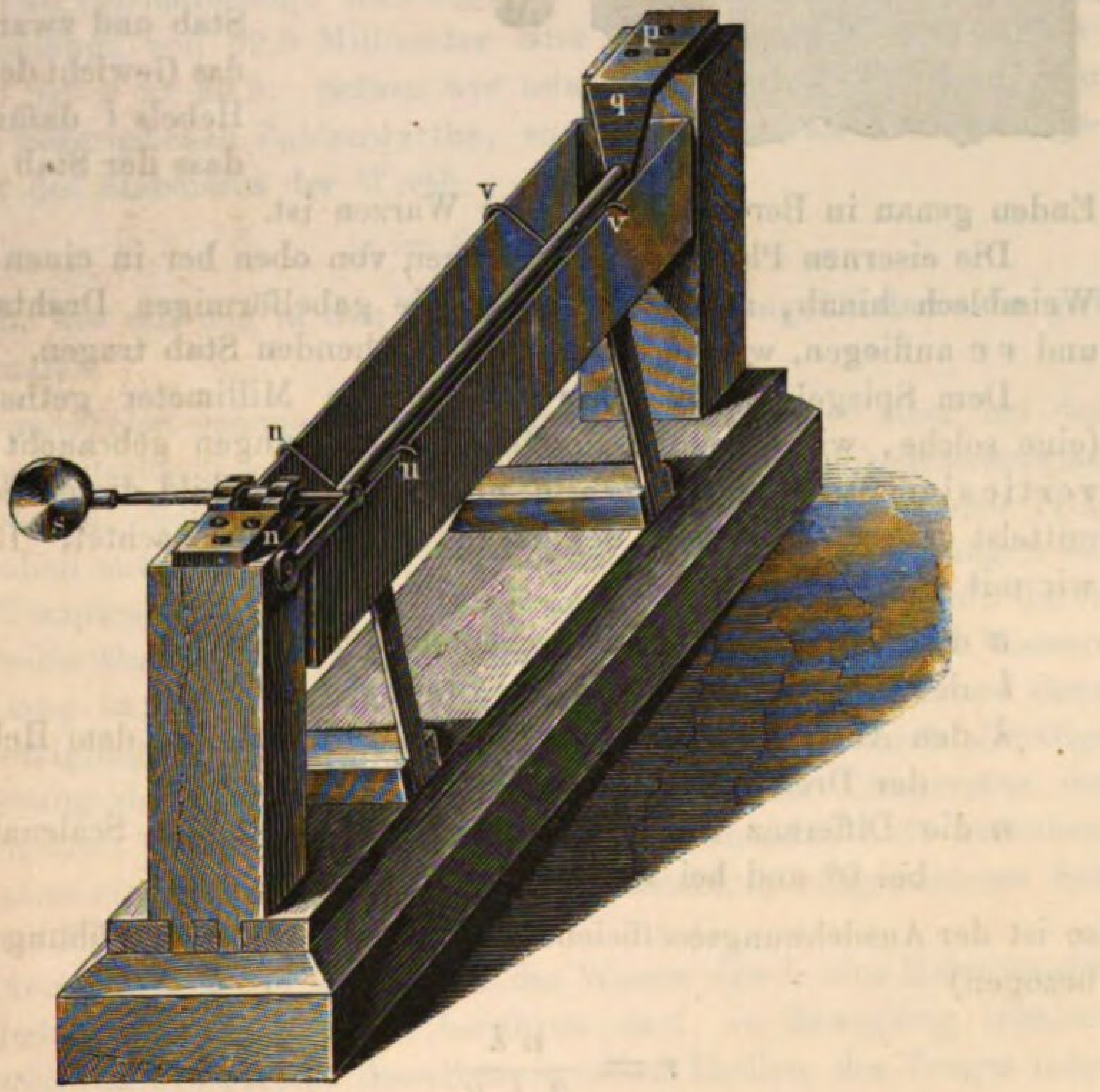
Als Widerhalt für das eine Ende dieses Stabes diente ein verticaler Stab b, der an einem horizontalen eisernen Querstabe hing. Die Enden dieses Querstabes waren in zwei grosse eingemauerte massive Pfeiler von Stein eingekittet. Das andere Ende des Stabes a war in unmittelbarer Berührung mit einem ähnlichen Stabe c, der um eine horizontale Axe d, Fig. 573, leicht drehbar war. An derselben Axe war ein auf eine weit entfernte Scala gerichtetes Fernrohr f befestigt. Hier ist der Stab c der kürzere, die nach der Scala gerichtete Visirlinie aber der längere Hebelarm. Wenn durch die Ausdehnung der Stange a das untere Ende der

Stange c auch nur unbedeutend verrückt wird, so wird dadurch die Visirlinie des Fernrohrs gedreht, und man kann die kleinste Drehung auf der entfernten Scala ablesen. Eine Verrückung der Axe d und der festen Widerlage ist hier ganz unmöglich.

Zwischen den vier Pfeilern, Fig. 573, befindet sich ein Kasten von Kupferblech, der mit Wasser oder mit Oel gefüllt wird, in welches der zu untersuchende Stab eingetaucht ist. Diese Flüssigkeit kann dann einmal auf den Schmelzpunkt des Eises erkaltet und dann wieder zu einer Temperatur erwärmt werden, welche genau bestimmbar ist.

Mit dem besten Erfolge habe ich die Poggendorff'sche Spiegelvorrichtung zur Messung der Längenausdehnung fester Körper benutzt. Der Apparat, den ich zu diesem Zwecke construirte, ist in Fig. 575 dargestellt. In einem starken Brett von Tannenholz sind zwei Pfeiler von

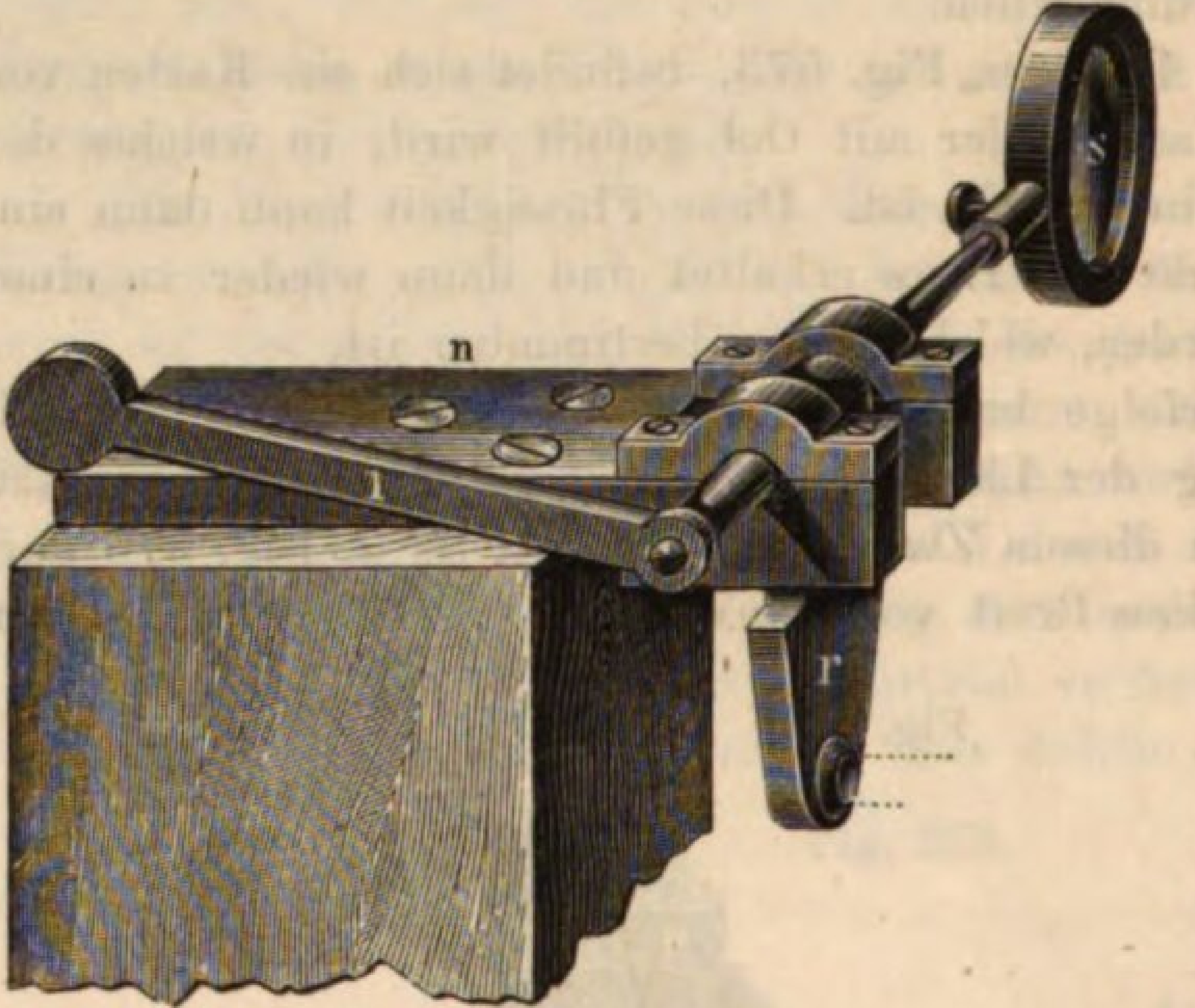
Fig. 575.



Eichenholz befestigt, welche einen quadratischen Querschnitt von 6 Centimeter Seite haben und welche 88 Centimeter (im Lichten) von einander abstehen. Auf dem einen dieser Pfeiler ist die starke eiserne Platte p aufgeschraubt, welche mit einem rechtwinklig herabgebogenen Ansatz q versehen ist. Auf dem anderen Pfeiler ist eine eiserne Platte n aufge-

schraubt, an deren hervorragendem Theil die Zapfenlager für eine horizontale Axe angebracht sind, welche einerseits den Spiegel *s*, andererseits den Hebelarm *l* trägt, und von welcher, wie man in Fig. 576 deutlicher sieht, der fest mit der Umdrehungsaxe verbundene eiserne Hebel *r* herabhängt. Sowohl *q* als *r* sind unten mit einer ein Kugelstück bildenden Hervorragung versehen; zwischen diesen beiden Warzen liegt der zu untersuchende Stab und zwar ist durch das Gewicht des eisernen Hebels *l* dafür gesorgt, dass der Stab an beiden Enden genau in Berührung mit den Warzen ist.

Fig. 576.



Die eisernen Platten *q* und *r* ragen von oben her in einen Trog von Weissblech hinab, auf dessen Rand die gabelförmigen Drahtstücke *uu* und *vv* aufliegen, welche den zu untersuchenden Stab tragen.

Dem Spiegel *s* gegenüber ist eine in Millimeter getheilte Scala (eine solche, wie sie zu Magnetometer-Ablesungen gebraucht wird) in verticaler Stellung angebracht und das Spiegelbild dieser Scala wird mittelst eines Fernrohrs in der bekannten Weise beobachtet. Bezeichnen wir mit

α die Länge des zu untersuchenden Stabes bei 0^0,

l den Abstand der Scala vom Spiegel,

λ den Abstand des Mittelpunktes der Warze auf dem Hebel *r* von der Drehungsaxe desselben,

n die Differenz der in Millimeter ausgedrückten Scalenablesungen bei 0^0 und bei 100^0,

so ist der Ausdehnungscoëfficient (auf eine Temperaturerhöhung von 100^0 bezogen)

$$r = \frac{n\lambda}{2.l.\alpha} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

Bei unserem Apparat war

$$\lambda = 45 \text{ Millimeter}$$
$$\alpha = 827 \quad \text{"}$$

und die Aufstellung war so gemacht, dass

$$l = 1533 \text{ Millimeter.}$$

Der Versuch wurde nun in folgender Weise angestellt: In den Trog wurde, nachdem der zu untersuchende Stab in gehöriger Weise in den Apparat eingelegt war, möglichst heisses Wasser vorsichtig eingegossen, und nach einiger Zeit, wenn man annehmen konnte, dass der Stab die Temperatur des Wassers angenommen habe, die Scala durch das Fernrohr beobachtet. Es wurde alsdann der Stand eines in die Mitte des Troges eingetauchten Thermometers für die Momente notirt, in welchen das Fadenkreuz zunächst gerade auf einem Haupttheilstrich der Scala einstand. Als ein Stab von gewalztem Eisen in den Apparat eingelegt war, ergab die erste sichere Ablesung einen Thermometerstand von 75,1^0, als das Fadenkreuz bei 16,5 der Scala stand. Nach einer allmäligen Erkaltung bis auf 10,4^0 stand das Fadenkreuz beim Theilstrich 21 der Scala.

Für eine Temperaturerniedrigung von 75,1 — 10,4 = 64,7 Grad durchlief also das Fadenkreuz auf der Scala einen Weg von 210 — 165 = 45 Millimeter. Einer Temperaturdifferenz von 100^0 entspricht also in unserem Fall (gleichförmige Ausdehnung des Metallstabs vorausgesetzt) eine Scalenlänge von 69,9 Millimeter oder mit anderen Worten für unseren Fall ist $n = 69{,}9$. Setzen wir nun in Gleichung 1) für n, λ, α und l die besprochenen Zahlenwerthe, so ergiebt sich als Ausdehnungscoëfficient des Stabeisens der Werth

$$r = 0{,}00123,$$

ein Werth, der mit den in den folgenden Tabellen angeführten sehr gut übereinstimmt.

Um möglichst genaue Resultate zu erzielen, müssten aber bei der besprochenen Beobachtungsmethode doch noch einige Vorsichtsmaassregeln befolgt werden. Nach dem Eingiessen des heissen Wassers in den Trog sinkt nämlich anfangs die Temperatur so rasch, dass die Ablesungen bei höheren Temperaturen kaum brauchbar sind. Man müsste deshalb durch untergestellte Gas- oder Weingeistlampen die Temperatur des Wassers eine Zeitlang in der Nähe des Siedpunktes constant erhalten und dann die Erniedrigung der Temperatur bis auf ungefähr 55^0 durch allmälige Verkleinerung der Flammen erzielen. Ist endlich die Temperatur des Wassers nahezu bis auf die Temperatur der umgebenden Luft gesunken, so kann man eine weitere Erkältung durch vorsichtig eingeworfenes fein gestossenes Eis bewirken.

Es versteht sich von selbst, dass das Wasser durch eine Holzschaufel, welche jedoch den Stab nicht berühren darf, in Bewegung erhalten wird, damit die Temperatur desselben in allen Theilen des Troges möglichst nahe dieselbe sei.

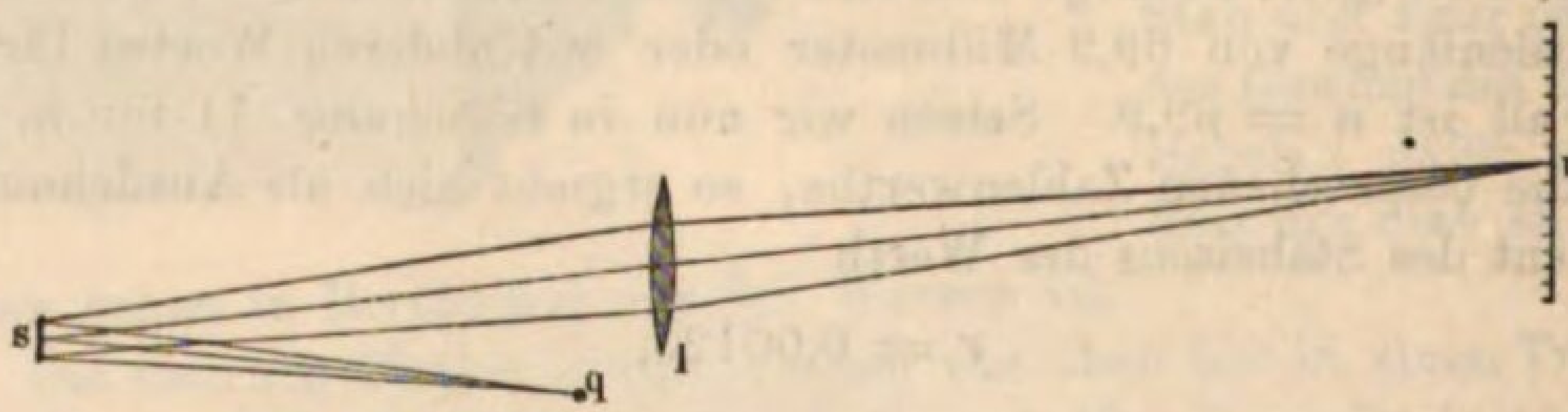
Statt eines Thermometers in der Mitte des Troges ist es zweckmässiger, noch zwei weitere Thermometer an den beiden Enden des Troges anzubringen; ich habe jedoch gefunden, dass die Angaben der drei Thermometer meistens wenig von einander differiren.

Wollte man Bestimmungen für Temperaturen bis zu 200 und 300

Graden machen, so müsste man Oel an die Stelle des Wassers setzen und die Lampen entsprechend vergrössern.

Auch zu Vorlesungsversuchen habe ich diesen Apparat benutzt (er ist vorzugsweise zu diesem Zweck construirt worden), indem ich an die Stelle der subjectiven Beobachtung durch das Fernrohr die objective Projection der vom Spiegel reflectirten Lichtstrahlen setzte. Zu diesem Zweck war es vortheilhafter, den Spiegel *s* aus der in Fig. 575 und 576 dargestellten Lage um 180^0 zu drehen, so dass die spiegelnde Fläche in die Stellung kommt, welche seine Rückwand in jenen Figuren einnimmt. Als Lichtquelle diente eine Argand'sche Lampe, vor welcher ein Schirm mit einem 2 Centimeter langen, 3 bis 4 Millimeter breiten Spalt angebracht war. Die Lampe stand ungefähr 9 Decimeter von dem Spiegel entfernt und zwar etwas tiefer als derselbe, wie die schematische Fig. 577 andeutet, in welcher *s* den Spiegel, *q* die Lichtquelle bezeichnet.

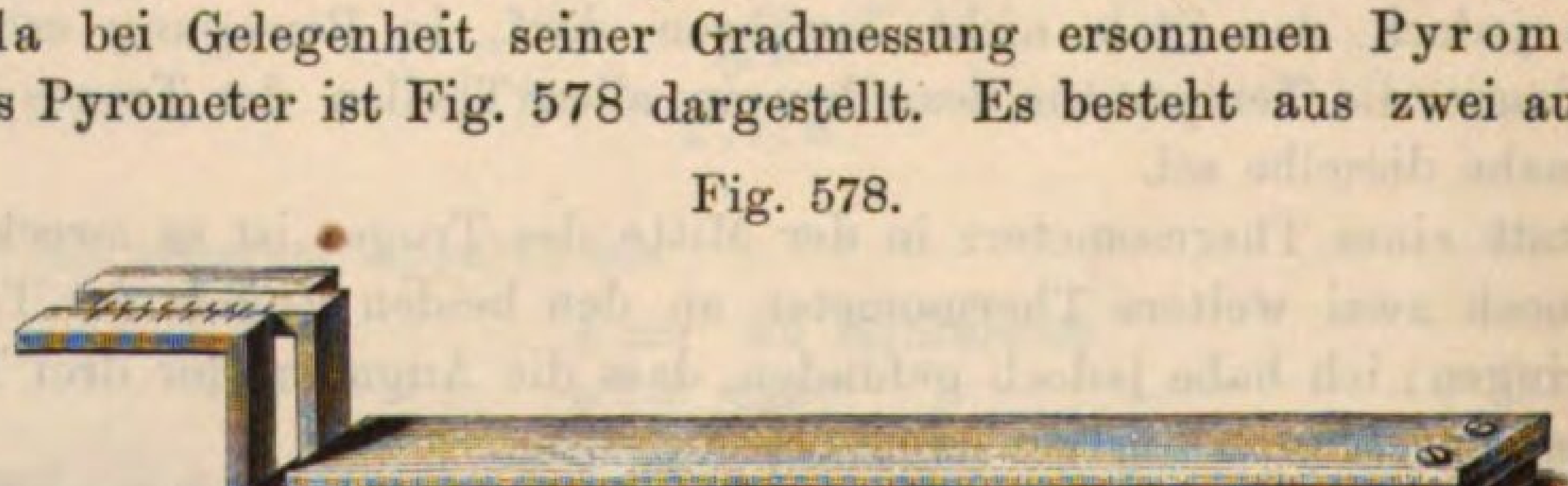
Fig. 577.



Das von der Lampe durch den Spalt dringende und vom Spiegel reflectirte Licht wurde durch eine Linse *l* von 9 Decimeter Brennweite aufgefangen, welche 6,5 Decimeter vom Spiegel entfernt aufgestellt war und welche auf einer 2,2 Meter von ihr entfernten vertical gestellten kräftig gezeichneten in halbe Centimeter getheilten Scala das Bild des Spaltes entwarf. Als der Stab kalt im Apparat lag, fiel das Bild auf einen bestimmten Theilstrich, und stieg dann rasch bis zu einem bestimmten Maximum, als heisses Wasser in den Trog eingeschüttet wurde.

Dulong und Petit haben ein anderes Verfahren angewendet, die Ausdehnung fester Körper zu bestimmen, welches auf der Differenz zwischen der scheinbaren und absoluten Ausdehnung des Quecksilbers, wovon später noch die Rede sein wird, beruht. Nachdem auf diese Weise die Ausdehnung des Glases und des Eisens bestimmt war, bedienten sie sich, um die Ausdehnung anderer festen Körper zu finden, des von Borda bei Gelegenheit seiner Gradmessung ersonnenen Pyrometers. Dieses Pyrometer ist Fig. 578 dargestellt. Es besteht aus zwei aus ver-

Fig. 578.



schiedenen Metallen gebildeten Stäben, welche ihrer Länge nach auf einander gelegt und an dem einen Ende fest verbunden sind. Am anderen Ende trägt jeder Metallstab ein Messingstück, welches zuerst vertical aufsteigt und dann horizontal umgebogen ist. Die horizontalen Arme dieser Ansatzstücke können frei aneinander hergleiten, wenn die Metallstäbe sich ungleich ausdehnen; da sie aber an der Linie, mit welcher sie zusammenstossen, eingetheilt sind, und zwar so, dass die Theilung des einen einen Nonius für den anderen bildet, dass also etwa 19 Theile der einen Theilung gleich 20 Abtheilungen der anderen sind, so kann man mit Hülfe dieses Nonius sehr genau die Differenz der Ausdehnung der beiden Metallstäbe ablesen. Wenn nun die Ausdehnung des einen bekannt ist, so kann man leicht mit Hülfe der eben beobachteten Differenz die Ausdehnung des anderen bestimmen. Die Stäbe, welche Dulong und Petit anwendeten, waren 12 Decimeter lang, 25 Millimeter breit und 4 Millimeter dick.

Die folgende Tabelle enthält eine Zusammenstellung der besten Beobachtungen über die Ausdehnung fester Körper.

Von 0 bis 100° ist im Allgemeinen die Ausdehnung der festen Körper regelmässig, d. h. die Ausdehnung ist der Temperaturerhöhung proportional, wie bereits auf Seite 625 bemerkt wurde, in höheren Temperaturen aber nimmt sie zu, wie man aus der letzten Abtheilung der folgenden Tabelle sieht.

Tabelle
der linearen Ausdehnung fester Körper.

Namen der Körper.	Temperatur-Intervall.	Ausdehnung in Decimalbrüchen.	Ausdehnung in gewöhnl. Brüchen.
Nach Lavoisier und Laplace:			
Englisches Flintglas	0 bis 100°	0,00081166	1/1248
Platin (nach Borda)	"	0,00085655	1/1167
Französisches bleihaltiges Glas	"	0,00087199	1/1147
Bleifreie Glasröhren	"	0,00087572	1/1142
" "	"	0,00091750	1/1090
Glas von St. Gobain	"	0,00089089	1/1122
Stahl (nicht gehärtet)	"	0,00107880	1/927
" "	"	0,00107960	1/926
Stahl (gehärtet)	"	0,00123956	1/807
Weiches Eisen, geschmiedet	"	0,00122045	1/819
Stabeisen	"	0,00123504	1/812
Gold	"	0,00146606	1/682
"	"	0,00156155	1/645
Kupfer	"	0,00171220	1/584
"	"	0,00172240	1/581
Messing	"	0,09186760	1/535
"	"	0,06188970	1/529
Silber	"	0,00190868	1/524
"	"	0,00190974	1/524
Zinn	"	0,00193765	1/516
"	"	0,00217298	1/462
Blei	"	0,00284836	1/351
Nach Roy:			
Glas in Röhren	0 bis 100°	0,00077550	1/1288
Glas, solider Stab	"	0,00080833	1/1237
Eisen, gegossenes Prisma	"	0,0011100	1/901
Stahl	"	0,00114450	1/874
Messing von Hamburg	"	0,00185550	1/539
Messing, englisches	"	0,00189296	1/528

Namen der Körper.	Temperatur-Intervall.	Ausdehnung. in Decimalbrüchen.	Ausdehnung. in gewöhnl. Brüchen.
Nach Smeaton:			
Weisses Glas (Barometerröhren) . . .	0 bis 100°	0,00083333	1/1175
Antimon	„	0,0010833	1/923
Stahl	„	0,00115000	1/870
Gehärteter Stahl	„	0,00122500	1/816
Eisen	„	0,00125833	1/795
Wismuth	„	0,00139167	1/719
Kupfer, gehämmert	„	0,00170000	1/588
Kupfer, 8 Theile mit 1 Theil Zinn . .	„	0,00181667	1/550
Messing, gegossen	„	0,00187500	1/533
Messingdraht	„	0,00193333	1/517
Spiegelmetall zu Teleskopen	„	0,00193333	1/517
Loth (2 Thle. Kupfer, 1 Thl. Zink) .	„	0,00205333	1/486
Reines Zinn	„	0,00228833	1/438
Weiss-Loth (1 Thl. Zinn, 2 Thle. Blei)	„	0,00250533	1/399
Blei	„	0,00286667	1/349
Zink	„	0,00294167	1/340
Nach Troughton:			
Platin	0 bis 100°	0,00099180	1/1008
Stahl	„	0,00118900	1/840
Eisen (im Drahtzug gezogen)	„	0,00144010	1/694
Kupfer	„	0,00191880	1/521
Silber	„	0,00208260	1/480
Nach Dulong und Petit:			
Platin	0 bis 100°	0,00088420	1/1131
	0 bis 300°	0,00275482	1/363
Glas	0 bis 100°	0,00086133	1/1161
	0 bis 200°	0,00184502	1/454
	0 bis 300°	0,00303252	1/329
Eisen	0 bis 100°	0,00118210	1/546
	0 bis 300°	0,00440528	1/227
Kupfer	0 bis 100°	0,00171820	1/582
	0 bis 300°	0,00564972	1/177

203 **Die cubische Ausdehnung** ist die Vergrösserung, welche das Volumen eines Körpers durch die Temperaturerhöhung erleidet. Auch hier wird das Volumen des Körpers bei 0^0 zum Ausgangspunkte genommen, und unter dem Ausdehnungscoëfficienten versteht man hier die Zahl, welche angiebt, um den wievielsten Theil seines ursprünglichen Volumens bei 0^0 sich ein Körper ausdehnt, wenn man ihn bis auf 100^0 erwärmt. Wenn man sagt, der Ausdehnungscoëfficient des Quecksilbers sei 0,018, so heisst das, das Quecksilber dehnt sich bei einer Temperaturerhöhung von 100^0 um $\frac{18}{1000}$ seines Volumens bei 0^0 aus. Kennt man den Ausdehnungscoëfficienten und das Volumen eines Körpers bei 0^0, so kann man sein Volumen für eine Temperatur von t^0 auf dieselbe Weise berechnen, wie dies bei der Längenausdehnung der festen Körper gezeigt wurde, vorausgesetzt, dass die Ausdehnung des Körpers regelmässig ist.

Bei tropfbar-flüssigen und gasförmigen Körpern wird durch den Versuch unmittelbar die körperliche Ausdehnung bestimmt, während bei festen Körpern die körperliche Ausdehnung meist aus der beobachteten linearen berechnet werden muss.

Der Ausdehnungscoëfficient für die körperliche Ausdehnung fester Körper ist dreimal so gross als der Ausdehnungscoëfficient für die lineare Ausdehnung.

Man kann sich davon durch folgendes Raisonnement überzeugen. Es sei l die Seite eines Würfels bei 0^0, so ist l^3 das Volumen desselben, welches wir mit v bezeichnen wollen; wenn nun der Würfel bis auf 100^0 erwärmt wird, so ist jede Seite desselben $l\,(1 + r)$, mithin ist jetzt der Inhalt des Würfels:

$$v' = l^3\,(1 + r)^3 = l^3\,(1 + 3r + 3r^2 + r^3).$$

Da aber r eine sehr kleine Grösse ist, so kann man die höheren Potenzen derselben vernachlässigen, und der Werth von v' reducirt sich demnach auf

$$v' = l^3\,(1 + 3\,r) = v\,(1 + 3\,r).$$

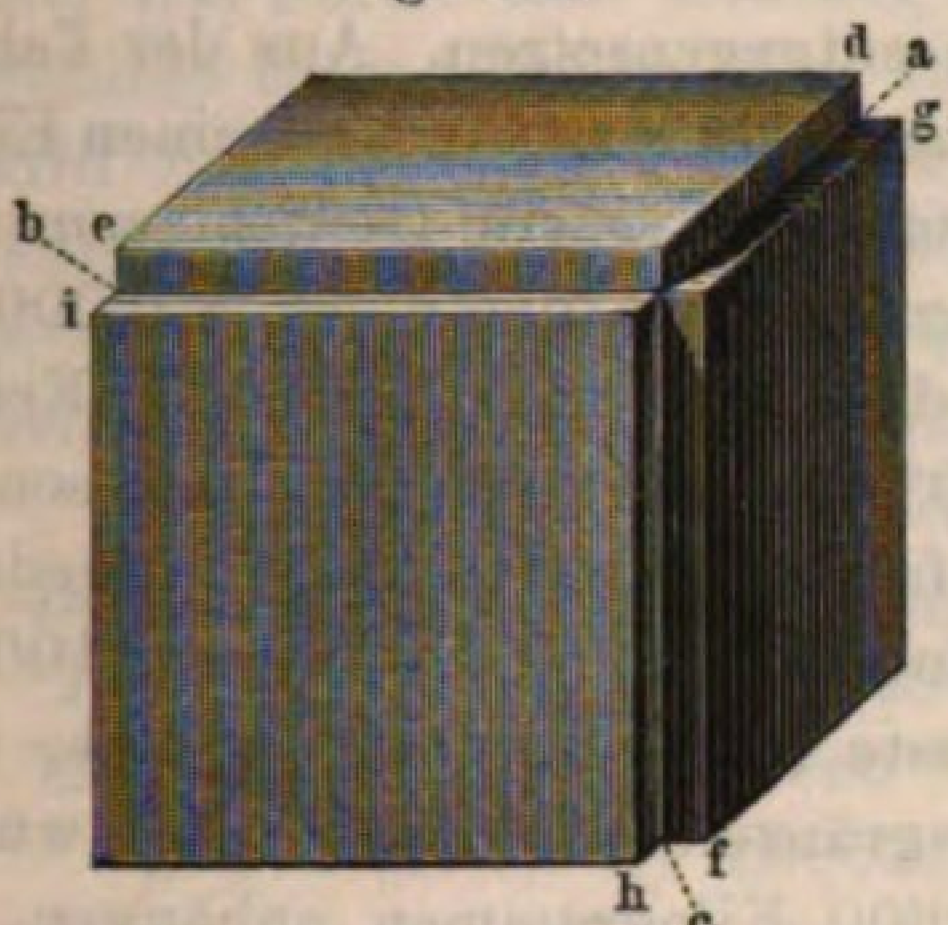
Das Volumen v ist also um $3\,r\,v$ gewachsen; der Ausdehnungscoëfficient für das Volumen ist also $3\,r$.

Wir wollen versuchen, dies noch auf geometrischem Wege anschaulich zu machen.

Es sei abc, Fig. 579, ein aus irgend einem festen Stoffe gebildeter Würfel bei 0^0. Wenn nun dieser Würfel bei einer Temperaturerhöhung von 100^0 sich nur nach oben ausdehnte, so würde sein Volumen um die quadratische Platte $adeb$ zunehmen, deren Inhalt vr ist, wenn v das ursprüngliche Volumen des Würfels und r den Längen-Ausdehnungscoëfficienten bezeichnet. Wenn sich der Würfel nur nach der rechten Seite hin ausdehnte, so würde er hier um eine eben so grosse Platte $cfga$

wachsen, und eine dritte Platte *bihc* endlich, deren Inhalt gleichfalls *rv* ist, würde das Resultat der Ausdehnung des Körpers nach vorn sein. Der cubische Inhalt dieser drei Platten zusammen ist 3 *rv*. Zur Vollendung des durch die Wärme vergrösserten Würfels müsste freilich noch der Inhalt der Stäbchen hinzuaddirt werden, welche da einzupassen sind, wo je zwei der eben betrachteten Platten mit einer Kante zusammentreffen; allein die Grösse derselben ist so unbedeutend, dass sie vernachlässigt werden kann, da ja die Grösse der linearen Ausdehnung *da* sehr klein ist im Vergleich zu der Länge der Seiten des ursprünglichen Würfels, und man kann also 3 *rv* ohne merklichen Fehler für die ganze Zunahme des Volumens ansehen.

Fig. 579.



Für eine Glassorte, deren Ausdehnungscoëfficient für lineare Ausdehnung 0,00083 beträgt, ist demnach die körperliche Ausdehnung, welche einer Temperaturerhöhung von 0 bis 100⁰ entspricht, 0,00249 des ursprünglichen Volumens und dies ist dann auch die Vergrösserung des Rauminhaltes, welche ein aus dieser Glassorte verfertigtes Gefäss bei einer Temperaturerhöhung von 100⁰ erfährt.

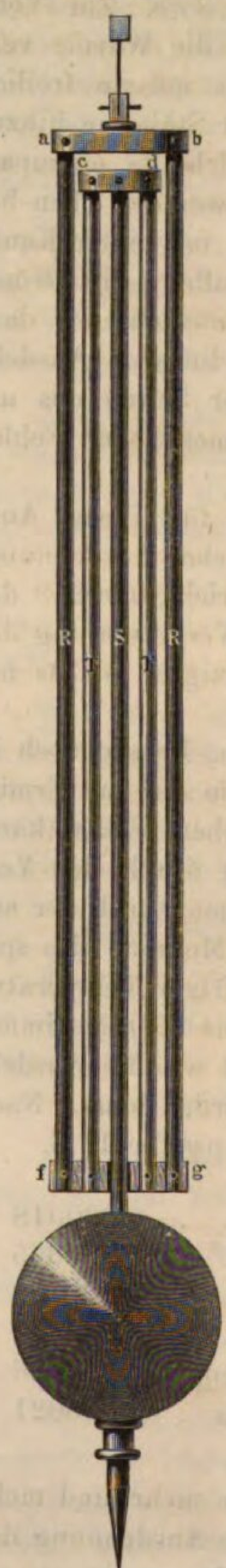
Viele feste Körper kommen weder in hinlänglichen Massen noch in geeigneter Form vor, um aus ihnen Stäbe zu bilden, wie sie zur Ermittelung der linearen Ausdehnung nöthig sind. In solchen Fällen kann man unmittelbar die cubische (räumliche) Ausdehnung durch den Versuch bestimmen. Am einfachsten geschieht dies, indem man nach der auf S. 12 und 13 des ersten Bandes auseinandergesetzten Methode das specifische Gewicht der fraglichen Körper einmal bei niedriger Temperatur (10 bis 20⁰) und dann bei höherer Temperatur (40 bis 50⁰) bestimmt, wobei natürlich die Ausdehnung des Glasgefässes sowohl wie die Ausdehnung der Flüssigkeit gehörig in Rechnung gebracht werden muss. Nach dieser Methode fand Kopp die räumliche Ausdehnung für 1⁰ C.

für Kupfer	0,000051	für Kalkspath . . .	0,000018
„ Blei	0,000089	„ Arragonit . . .	0,000065
„ Eisen	0,000037	„ Schwerspath . .	0,000058
„ Zink	0,000089	„ Quarz	0,000042
„ Schwefel . . .	0,000183	„ Weiches Natronglas	0,000026
„ Flussspath . .	0,000062	„ Hartes Kaliglas .	0,000021

Das Eis zieht sich bei verminderter Temperatur mehr und mehr zusammen, und zwar ist der Coëfficient für die cubische Ausdehnung des Eises nach Brunner 0,000113, nach Plücker 0,000158.

204 **Anwendungen der Ausdehnung fester Körper.** Die Kraft, mit welcher sich die Körper beim Erwärmen ausdehnen, ist gleich dem Widerstande, den sie einer Compression entgegensetzen. Aus der Tabelle Bd. I. S. 79 ersieht man z. B., dass man an einen Eisenstab von 1 Quadratcentimeter ein Gewicht von 100 Kilogrammen anhängen müsste, damit er um 0,000048 seiner Länge ausgedehnt werde. Durch eine Erwärmung von 0 bis 100⁰ wird aber der gleiche Eisenstab um 0,001235, also fast um 26mal so viel ausgedehnt als durch das Anhängen eines Gewichtes von 100 Kilogramm. Man müsste demnach (vorausgesetzt, dass dabei die Elasticitätsgränze nicht überschritten würde) ein Gewicht von 2600 Kilogrammen anhängen, um die gleiche Verlängerung zu erzielen, wie sie eine Temperaturerhöhung von 0 bis 100⁰ bewirkt.

Fig. 580.



Es würde also auch eines Gegendruckes von ungefähr 2600 Kilogrammen bedürfen, um die einer Temperaturerhöhung von 0 bis 100⁰ entsprechende Ausdehnung eines Eisenstabes von 1 □^cm Querschnitt zu hindern.

Die Kraft, mit welcher sich ein fester Körper beim Erkalten zusammenzieht, ist gleich derjenigen, mit welcher er sich beim Erwärmen ausdehnt.

Legt man einen heissen eisernen Reif um ein Rad, so dass er eben passt, so wird er nach dem Erkalten das Rad so fest zusammenhalten, wie man es auf keine andere Weise zu erreichen im Stande wäre.

Da alle Körper sich durch die Wärme ausdehnen, so wird ein aus einer einfachen Stange gebildetes Pendel bei höherer Temperatur länger sein als bei niedriger, es wird im Sommer also langsamer schwingen als im Winter, und wenn ein solches Pendel zur Regulirung einer Uhr angewendet wird, so ist der Gang der Uhr von der Temperatur abhängig. Bei den Compensationspendeln, welche ihres Aussehens wegen auch Rostpendel genannt werden, ist dieser nachtheilige Einfluss der Ausdehnung vermieden. Fig. 580 stellt ein Compensationspendel dar. An einem kurzen Stück einer Stahlfeder, mittelst dessen das ganze Pendel aufgehängt ist, ist das horizontale Querstäbchen ab befestigt, welches die beiden mit R bezeichneten Eisenstäbe trägt. Unten sind die beiden Stäbe R durch den horizontalen die beiden Zinkstäbe T tragenden Querstab fg verbunden. Auf dem oberen Ende der Zinkstäbe T ist ferner

das Querstäbchen cd befestigt, an welchem endlich der Eisenstab S hängt, welcher frei durch eine Höhlung des Querstabes fg hindurchgehend die Pendellinse trägt. Durch eine thermische Verlängerung der Eisenstäbe R wird das Querstück fg gesenkt und dadurch ebenso wie durch die Verlängerung von S die Pendellänge vergrössert, während durch die Verlängerung der Zinkstäbe T das Querstäbchen cd gehoben und also das Pendel verkürzt wird. Die Gesammtlänge des Pendels ist offenbar

$$L = R + S - T.$$

Bei einer Temperaturerhöhung von t Graden wird die Länge des Pendels:

$$L_t = (R + S)(1 + 0{,}0000122\,t) - T(1 + 0{,}0000294\,t).$$

Es ist aber $L = L_t$, wenn

$$(R + S)\,0{,}0000122\,t = T.0{,}0000294\,t,$$

wenn also

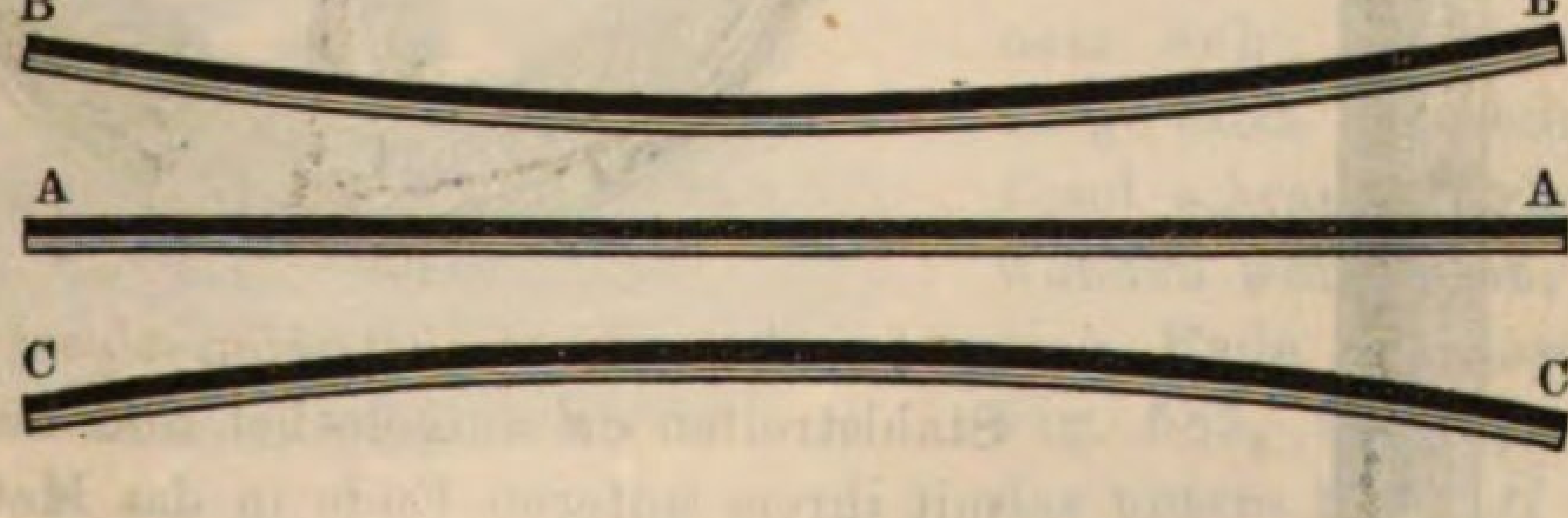
$$R + S = \frac{294}{122}\,T,$$

d. h. wenn die Länge des Eisenstabes S und eines der Eisenstäbe R zusammen sich zu der Länge eines der Zinkstäbe T umgekehrt verhält wie der Ausdehnungscoëfficient des Eisens zu dem des Zinks.

Um nach dem Schema der Figur ein Compensationspendel construiren zu können, muss der Ausdehnungscoëfficient des Metalls, aus welchem das Stäbepaar T verfertigt ist, mehr als doppelt so gross sein als der des Eisens oder des Stahls, welchen man für den Stab S und das Stäbepaar R verwendet. Aus Messing und Eisen lässt sich deshalb kein Compensationspendel mit 5 Stäben construiren. Bei Anwendung dieser Metalle, deren Ausdehnungscoëfficienten sich ungefähr verhalten wie 3 zu 2, hat man mindestens 9 Stäbe nöthig, nämlich einen mittleren Eisenstab, an welchem die Linse hängt, und ferner zwei Paar Eisenstäbe und zwei Paar Messingstäbe.

Wenn man bei einer mittleren Temperatur von ungefähr 15° zwei gleich lange Streifen von Metallen auf einander nietet, welche ungleiche Ausdehnungscoëfficienten haben, wie z. B. Zink und Eisen, so muss sich ein solcher Streifen bei jeder Temperaturveränderung krümmen, wie dies Fig. 581 andeutet; und zwar wird sich der Streifen so krümmen, dass

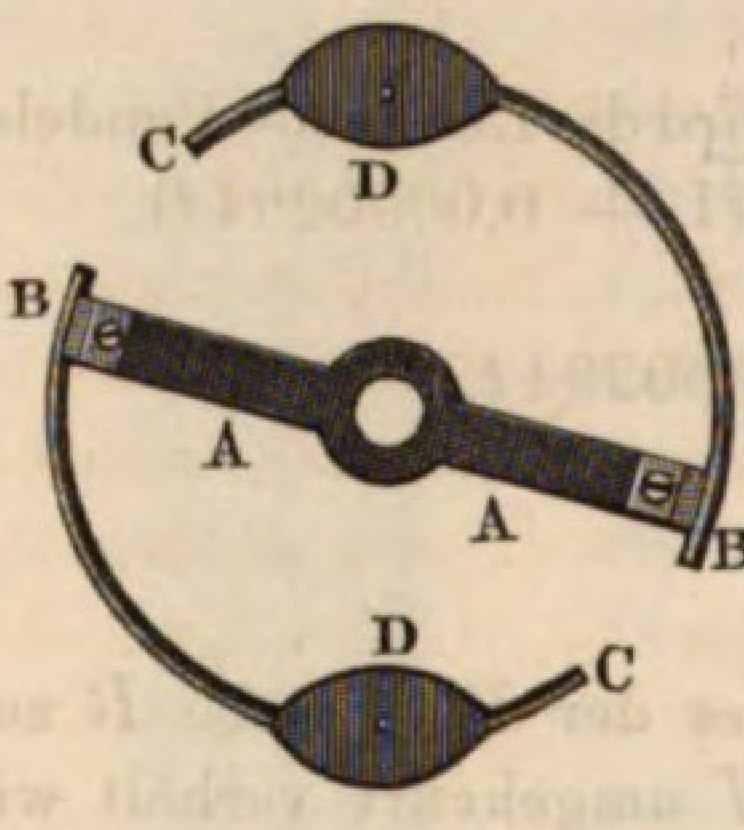
Fig. 581.



das stärker sich ausdehnende Metall das nach Aussen gekehrte ist, wie bei BB, wenn die Temperatur steigt, während es die innere Seite des Bogens bildet, wenn die Temperatur abnimmt.

Solche zusammengenietete Streifen werden Compensationsstreifen genannt, weil man sie zur Compensation der Unruhe in Chronometern benutzt. Die Schwankungen der Temperatur influiren nämlich die Schwingungsdauer der Unruhe in ähnlicher Weise, wie die der Pendel. Diesem Uebelstande wird durch die Fig. 582 dargestellte Einrichtung des Balanciers abgeholfen, welcher nicht durch einen geschlossenen durch radiale Speichen mit der Axe verbundenen Ring gebildet wird, sondern aus zwei metallenen Armen AA besteht, deren jeder an seinem Ende einen metallischen Bogen BC trägt. Diese Bogen sind durch über einander genietete Streifen ungleich ausdehnbarer Metalle gebildet und zwar ist das Metall, welches sich am stärksten ausdehnt, das äussere. Wenn nun die Temperatur steigt, so verlängern sich die Arme AA; gleichzeitig nimmt aber die Krümmung der Bogen BC zu, so dass die freien Enden C derselben und mit ihnen die kleinen Metallmassen D der Axe genähert werden.

Fig. 582.



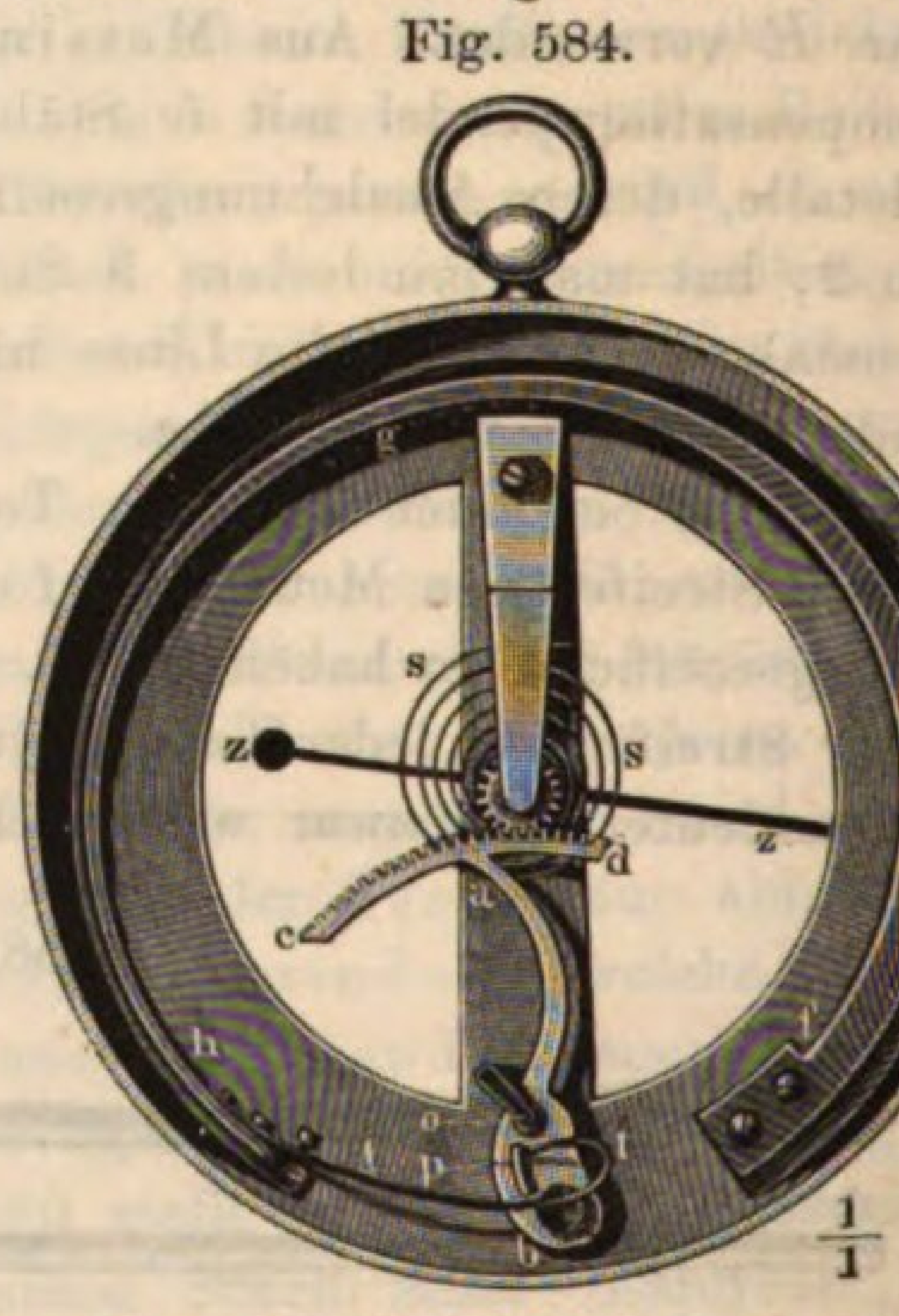
Man hat solche aus verschiedenen Metallen zusammengesetzte Stäbe und Streifen auch zur Construction von Thermometern benutzt.

So stellt Fig. 583 ein von Stöhrer verfertigtes Metallthermometer dar. Ein Zinkstreifen ab ist auf den Stahlstreifen cd aufgelöthet und beide sind mit ihrem unteren Ende in das Metallstück n fest eingelassen, während im Uebrigen der ganze Streifen $abcd$ frei ist und ungefähr $^1/_2$ Linie von der Messingplatte absteht,

Fig. 583.



Fig. 584.



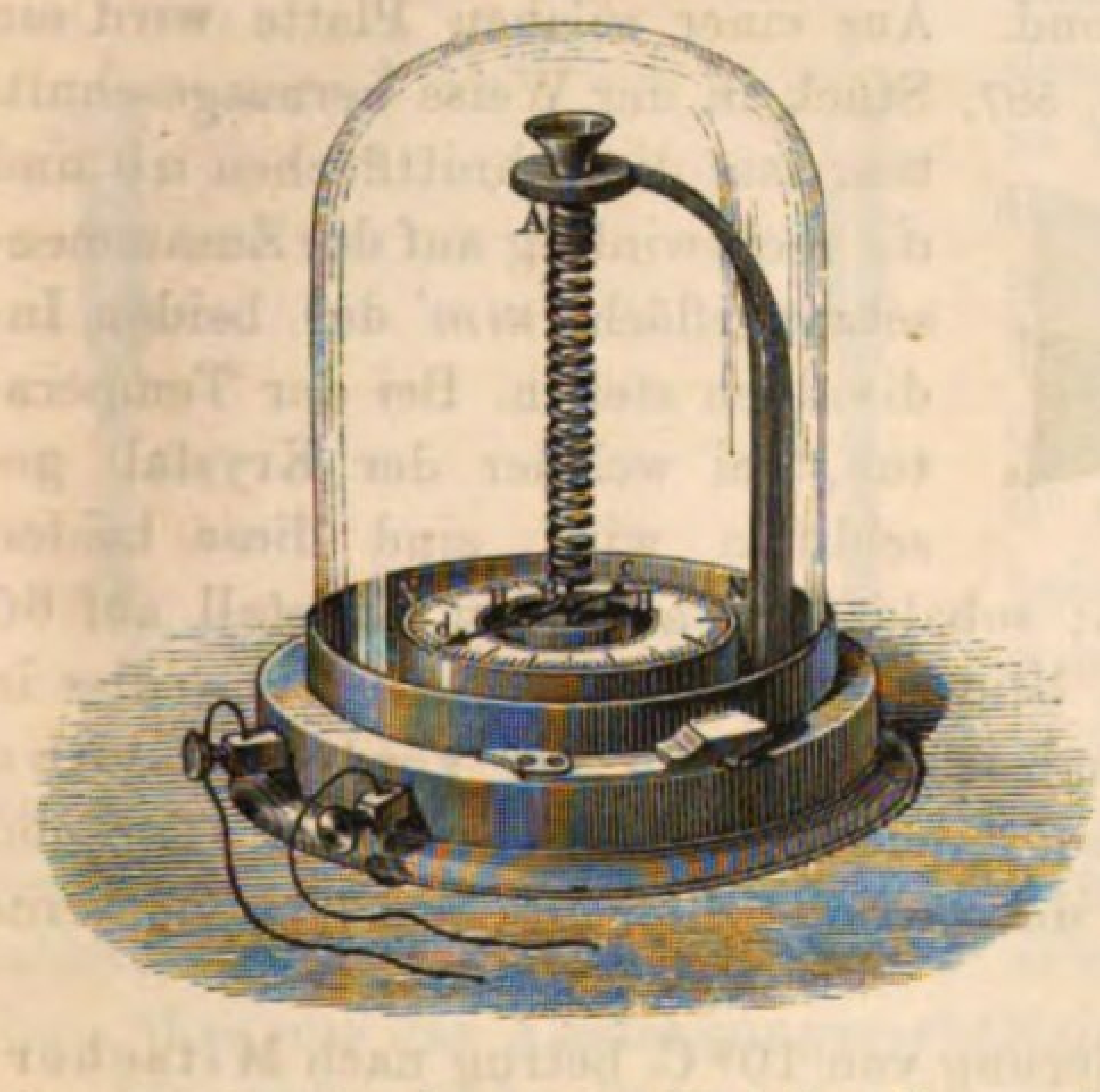
auf welcher *n* aufgeschraubt ist. Bei steigender Temperatur krümmt sich der zusammengesetzte Metallstreifen in der Art, dass sein oberes Ende nach der rechten Seite hingeht, was mittelst eines feinen Uhrkettchens auch die Drehung der Scheibe *s* und des Zeigers *t* nach derselben Seite zur Folge hat. Bei sinkender Temperatur wird das Scheibchen *s* sammt dem Zeiger *t* durch die Spiralfeder *o* wieder zurückgezogen. Die Graduirung eines solchen Instrumentes kann nur durch Vergleichung mit einem anderen Thermometer ausgeführt werden.

Mit dem Namen der Quadrantenthermometer unterscheidet man gewöhnlich solche Metallthermometer, welche die Gestalt einer Taschenuhr haben, wie ein solches Fig. 584 dargestellt ist. Der Compensationsstreifen *fgh*, aus Kupfer und Stahl (Kupfer innen) zusammengesetzt, ist bei *f* befestigt. Bei wachsender Temperatur wird der Compensationsstreifen sich etwas mehr strecken, das freie Ende *h* wird sich etwas nach Aussen bewegen und dadurch das untere Ende des um *o* drehbaren Hebels *aob* nach der Linken gezogen, indem ein bei *h* befestigter stählerner Haken *tt* bei *p* gegen eine Hervorragung des Hebels andrückt. Durch diese Drehung des Hebels wird der gezahnte Bogen *cd* nach der Rechten gedreht, was dann, mittelst eines kleinen gezahnten Rades, die Drehung des Zeigers *zz* in der Richtung von *f* nach *g* hin zur Folge hat. Die Theilung, vor welcher sich der Zeiger bewegt, ist in unserer Figur, als auf der anderen Seite des Instrumentes liegend, nicht sichtbar.

Bei abnehmender Temperatur bewirkt die Spiralfeder *ss* eine Drehung in entgegengesetzter Richtung.

Breguet's Thermometer, Fig. 585, ist unter allen Metallthermometern das empfindlichste.

Fig. 585.



Drei Metallstreifchen, Silber, Gold und Platin, sind so aufeinander gelöthet, dass sich das Gold in der Mitte befindet zwischen dem stärker ausdehnbaren Silber und dem weniger ausdehnbaren Platin. Die zusammengelötheten Metallstreifen sind dann zu einem sehr dünnen Bande ausgewalzt. Nachdem dieses Band schraubenförmig aufgewunden worden ist, wird das eine Ende desselben bei *A*, Fig. 585, befestigt, und an das untere Ende *B* desselben eine leichte horizontale Nadel *cd* angehängt, deren Spitze *d* sich über einen getheilten Kreis hinbewegen kann. Jede Temperaturveränderung bewirkt nun in Folge der ungleichen Ausdehnbarkeit der Metalle, aus

welchen das Spiralband zusammengesetzt ist, dass sich dasselbe mehr auf- oder mehr zuwindet, wodurch dann die Nadel *cd* um einen der Temperaturveränderung entsprechenden Winkel gedreht wird. Die Theilung des Kreises, über welchen sich die Nadelspitze *d* hinbewegt, wird durch Vergleichung mit einem Quecksilber-Thermometer ausgeführt.

An dem in Fig. 585 dargestellten Metallthermometer ist nun noch eine weitere Einrichtung angebracht, wodurch dasselbe zur Messung schwacher galvanischer Ströme brauchbar wird. Ein in der Mitte der Nadel *cd* befestigtes Stiftchen hängt nämlich in ein Quecksilbergefäss *HH* herab, welches mit dem Messingbügel *NA* nur durch das Spiralband in leitender Verbindung steht. Wird nun das Quecksilbergefäss *H* mit dem einen, der Messingbügel *NA* mit dem anderen Pol eines galvanischen Rheomotors in Verbindung gebracht (was durch die beiden in unserer Figur sichtbaren Schraubklemmen vermittelt wird), so wird das Spiralband durch den elektrischen Strom erwärmt, und die Nadel wird um eine der Stromstärke entsprechende Anzahl von Graden gedreht werden.

205 **Ungleiche Ausdehnung der Krystalle nach verschiedenen Richtungen.** Mitscherlich (Pogg. Annal. XLI) hat nachgewiesen, dass Krystalle, welche nicht dem regulären System angehören, nach verschiedenen Richtungen hin eine ungleiche Ausdehnung durch die Wärme erleiden.

Es lässt sich dies am leichtesten am krystallisirten Gyps und zwar an der Varietät nachweisen, von welcher schon in der Lehre vom Lichte die Rede war. Man findet häufig Zwillingskrystalle dieses Minerals, welche ungefähr die Gestalt Fig. 586 haben und unter dem Namen „Schwalbenschwänze" bekannt sind. Aus einer solchen Platte wird ein Stück in der Weise herausgeschnitten, dass die Schnittflächen *ab* und *de* rechtwinklig auf der Zusammensetzungsfläche *mm'* der beiden Individuen stehen. Bei der Temperatur, bei welcher der Krystall geschliffen wird, sind diese beiden Schnittflächen vollkommen eben; sobald man aber den Krystall auf 60 bis 80° erwärmt, erscheinen die beiden Flächen gebrochen, wie dies in Fig. 587 angedeutet ist, denn man erblickt, nach der Vorderfläche *bna* hinsehend, zwei Spiegelbilder eines entfernten Gegenstandes. Es geht daraus hervor, dass der Krystall durch ungleichförmige Ausdehnung seine Gestalt verändert hat.

Fig. 586.

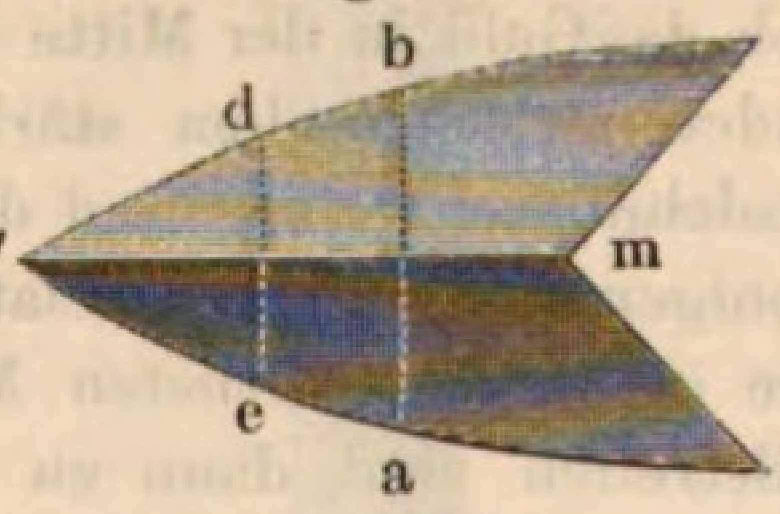


Fig. 587.



Für eine Temperaturveränderung von 10° C. betrug nach Mitscherlich's Messungen die Veränderung des Winkels *bna* schon $1\frac{1}{2}$ Minuten.

Aehnliche Erscheinungen lassen sich auch hervorbringen, wenn man zwei Krystalle so zusammenkittet, dass die Richtung der Axen in beiden

verschieden ist, und dann in ähnlicher Weise eine Fläche anschleift, wie beim Gypszwilling; diese Fläche wird alsdann beim Erwärmen gebrochen erscheinen.

Durch eine Temperaturerhöhung von 100° C. wird der stumpfe Kantenwinkel eines Kalkspathrhomboëders (Spaltungsrhomboëders) um $8^1/_2$ Minuten kleiner, woraus hervorgeht, dass die Ausdehnung in der Richtung der Hauptaxe grösser ist als rechtwinklig zu der Axe. Nach Mitscherlich's Messungen ist der Ausdehnungscoëfficient des Kalkspathes:

In der Richtung der Hauptaxe . . .	+ 0,0000286
Senkrecht zur Hauptaxe	— 0,0000056
Cubische Ausdehnung	+ 0,0000196

Rechtwinkelig zur Hauptaxe findet also eine Contraction statt, wenn die Temperatur steigt.

Absolute Ausdehnung der Flüssigkeiten. Bei den Flüssigkeiten haben wir eine absolute und eine scheinbare Ausdehnung zu unterscheiden. Die scheinbare Ausdehnung ist die, welche man an den in Gefässen eingeschlossenen Flüssigkeiten wirklich beobachtet; die absolute Ausdehnung dagegen ist diejenige, welche man beobachten würde, wenn sich das Gefäss selbst durchaus nicht ausdehnte. 206

Dulong und Petit haben die absolute Ausdehnung des Quecksilbers direct mittelst eines Apparates bestimmt, welcher auf dem hydrostatischen Principe beruht, dass die Höhe flüssiger Säulen, welche sich das Gleichgewicht halten, im umgekehrten Verhältnisse ihrer specifischen Gewichte steht.

Wenn zwei verticale Glasröhren at und $a't'$, Fig. 588, unten durch eine horizontale Röhre tt' verbunden und mit Quecksilber gefüllt sind, so werden die Gipfel der Quecksilbersäulen in beiden Röhren gleich hoch stehen, wenn sie von gleicher Temperatur sind. Wird aber das Quecksilber in der einen Röhre auf 0° erkaltet, in der anderen auf eine beliebige Temperatur t erwärmt, so wird der Gipfel der Quecksilbersäule in der letzteren höher stehen als in der ersteren. Aus dem Höhenverhältniss der beiden Quecksilbersäulen ergiebt sich, in welchem Verhältniss das specifische Gewicht des auf 0° erkalteten Quecksilbers zu dem auf t^0 erwärmten steht, woraus sich dann ohne Weiteres das Ausdehnungsverhältniss ergiebt.

Fig. 588.

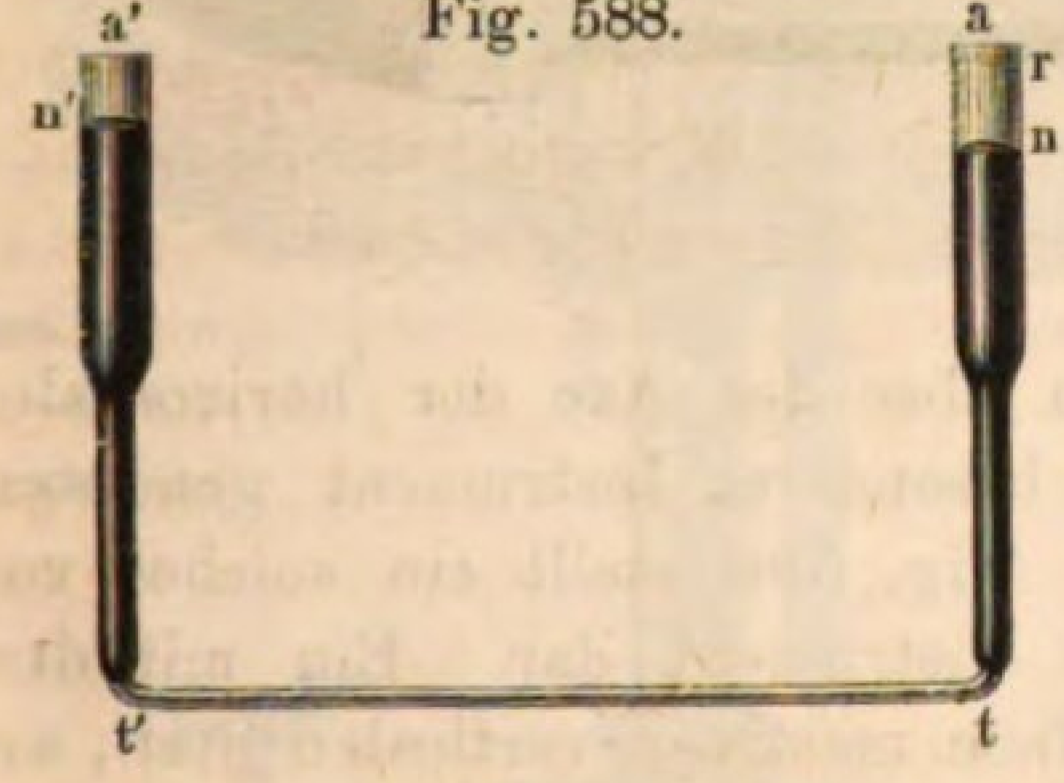
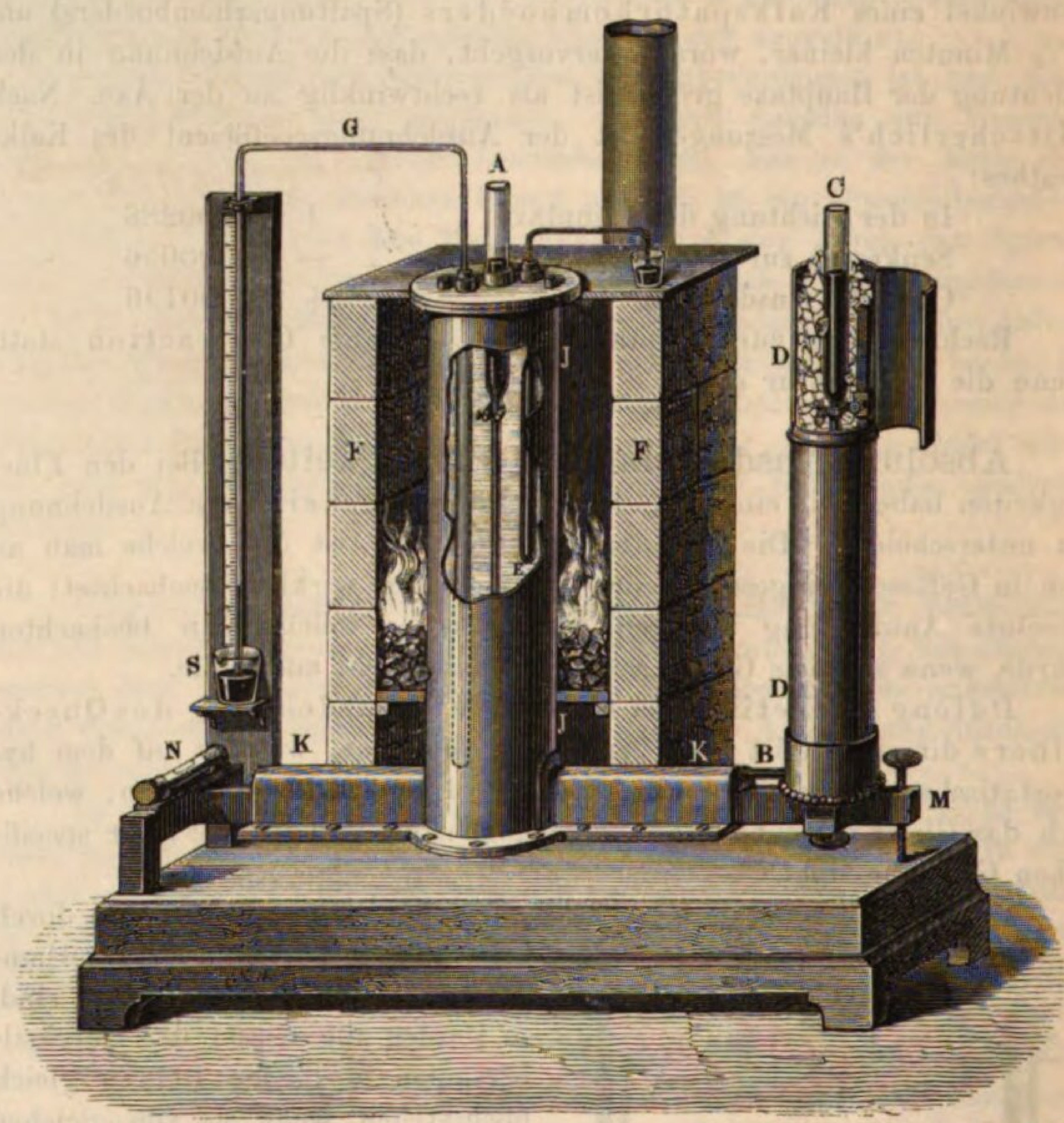


Fig. 589 (a.f.S.) stellt nun den Apparat dar, mit Hülfe dessen man nach diesem Princip die absolute Ausdehnung des Quecksilbers bestimmt hat. Die beiden verticalen Glasröhren sind zunächst durch eiserne Stangen

festgehalten und dann mit einem Cylinder von Blech umgeben. Der eine wird mit kleinen Eisstücken, der andere mit Oel gefüllt, welches mittelst eines Ofens erwärmt wird.

Fig. 589.



Die Höhen der Quecksilbersäulen über der Axe der horizontalen Verbindungsröhre werden durch ein besonderes Instrument gemessen, welches man Kathetometer nennt. Fig. 590 stellt ein solches von Staudinger in Giessen construirtes Instrument dar. Ein mit drei Stellschrauben versehener Fuss trägt einen massiven verticalen Stab, um welchen sich eine Hülse *a* frei drehen und mittelst der Stellschraube *n* in einer beliebigen Stellung feststellen lässt. Auf der einen Seite ist an dieser Hülse der eiserne Stab *b b*, auf der anderen aber der als Gegengewicht dienende Messingcylinder *c c* befestigt. Auf der vorderen Fläche des Stabes *b b*, welche Fig. 590 zur Linie verkürzt erscheint, ist eine Theilung angebracht, wie man dies Fig. 591 sieht. An dem Stabe *b b* lässt sich nun der bei *f*, Fig. 591, mit einem Nonius versehene Schieber *d* auf- und abbewegen, und mittelst der Stellschraube *r* in einer beliebi-

gen Höhe festschrauben. Die Mikrometerschraube *s* dient zur feineren Einstellung.

Fig. 590.

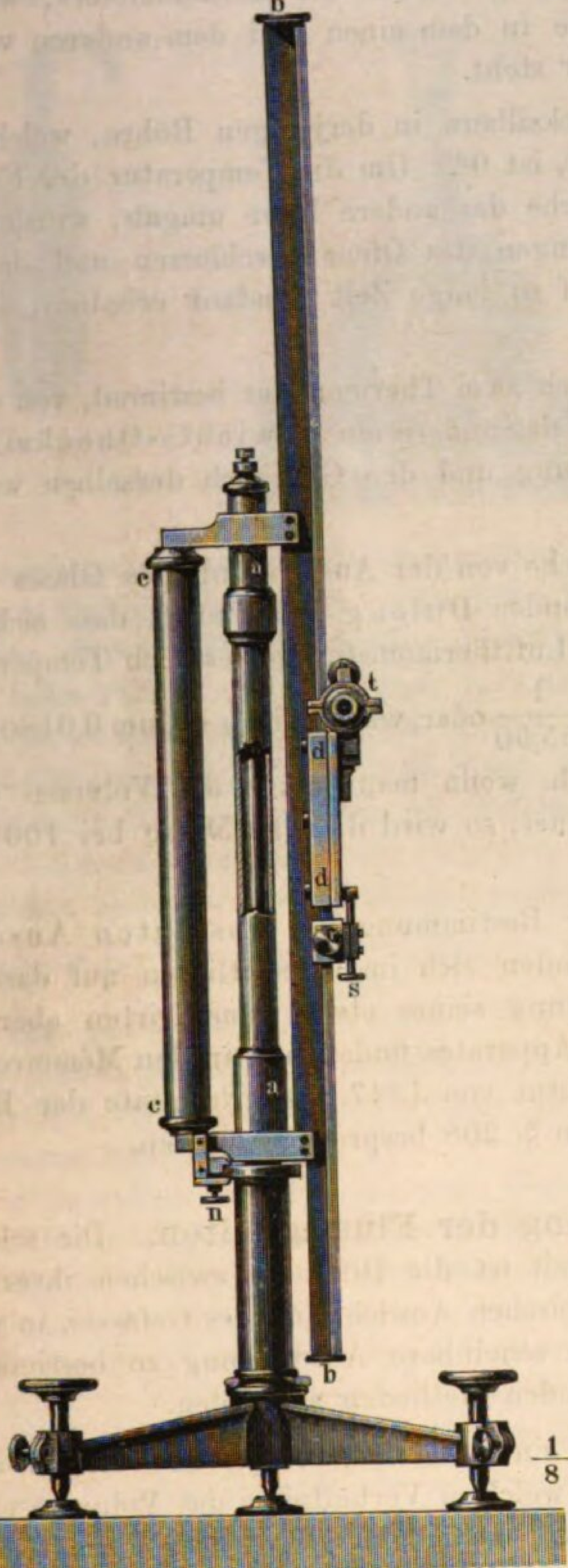
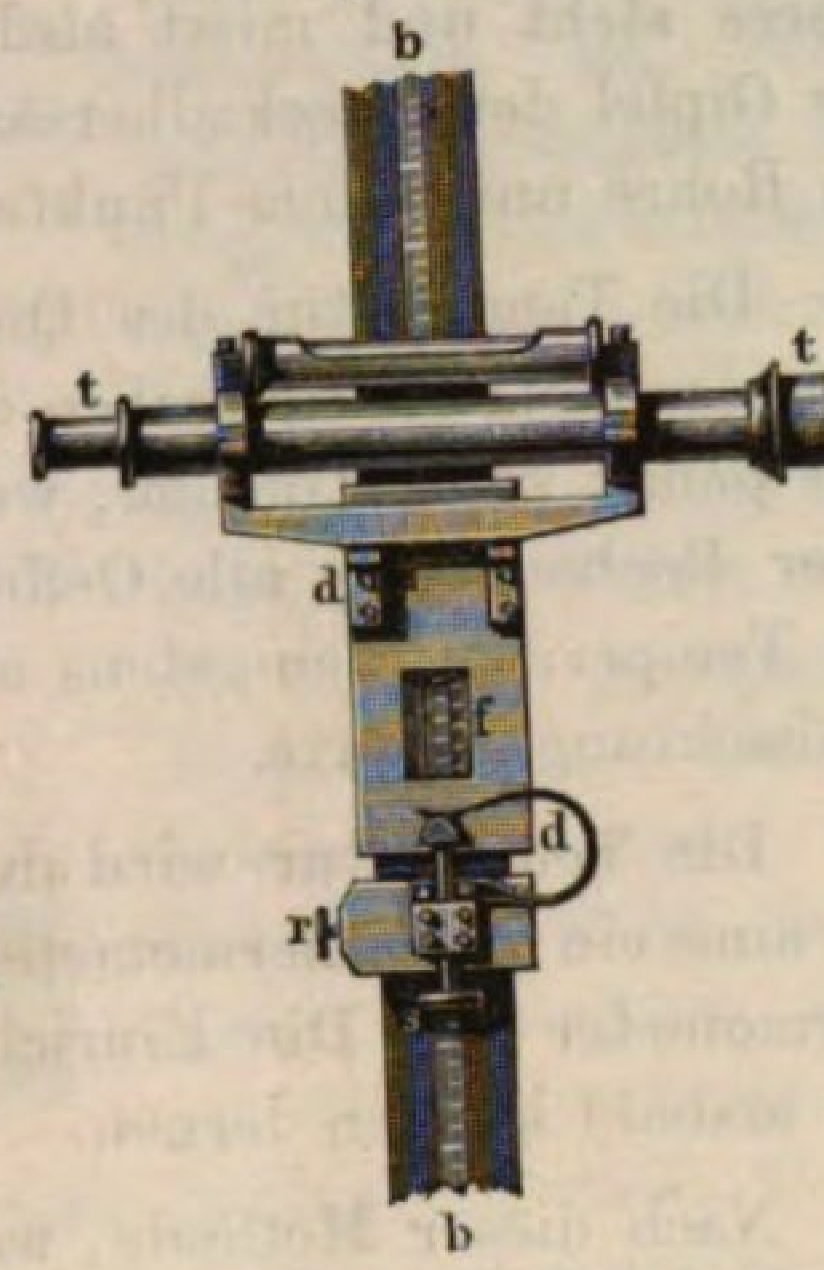


Fig. 591.



Der Schieber *d* trägt ein horizontales Fernrohr *t*, welches natürlich mit einem Fadenkreuz versehen sein muss. Hat man zuerst das Fernrohr genau so hoch gestellt, dass der Kreuzungspunkt des Fadenkreuzes auf irgend einen Punkt *A* einsteht, schiebt man dann, nachdem man in der ersten Stellung den Nonius abgelesen hat, das Fernrohr so weit herauf oder herab, dass das Fadenkreuz auf irgend einen zweiten Punkt *B* einsteht, und liest man abermals den Nonius ab, so giebt der Unterschied der beiden Ablesungen den Höhenunterschied der beiden Punkte *A* und *B* an.

Zu den fraglichen Versuchen wird das Kathetometer in einiger Entfernung so aufgestellt, dass man bald den Gipfel der Quecksilbersäule in der einen, bald den in der anderen der beiden Röhren, Fig. 589, ins Gesichtsfeld des Fernrohrs bekommt, wenn man die Hülse *a*, Fig. 590,

etwas um ihre verticale Axe dreht. Man bestimmt nun ein- für allemal wie hoch ein Visirpunkt *r*, welcher sich nahe am oberen Ende der einen verticalen Röhre befindet, über der Axe des horizontalen Verbindungsrohres steht und misst alsdann mit Hülfe des Kathetometers, wie tief der Gipfel der Quecksilbersäule in dem einen und dem anderen verticalen Rohre unter dem Punkte *r* steht.

Die Temperatur des Quecksilbers in derjenigen Röhre, welche mit schmelzendem Eis umgeben ist, ist 0°. Um die Temperatur der Flüssigkeit genau zu bestimmen, welche das andere Rohr umgab, wurden vor jeder Beobachtung alle Oeffnungen des Ofens geschlossen und dadurch die Temperatur wenigstens auf so lange Zeit constant erhalten, als die Beobachtung dauerte.

Die Temperatur wird durch zwei Thermometer bestimmt, von denen das eine ein Luftthermometer, das andere ein Gewichts-Quecksilberthermometer ist. Die Einrichtung und den Gebrauch derselben werden wir alsbald kennen lernen.

Nach dieser Methode, welche von der Ausdehnung des Glases ganz unabhängige Resultate giebt, fanden Dulong und Petit, dass sich das Quecksilber bei einer mit dem Luftthermometer gemessenen Temperaturerhöhung von 0° bis 100° um $\frac{1}{55,50}$ oder, was dasselbe ist, um 0,018018... seines Volumens ausdehnt, d. h. wenn man mit v das Volumen einer Quecksilbermasse bei 0° bezeichnet, so wird dieselbe Masse bei 100° ein Volumen $1,018 . v$ einnehmen.

Regnault's Versuche zur Bestimmung der absoluten Ausdehnung des Quecksilbers gründen sich im Wesentlichen auf dasselbe Princip; eine genaue Beschreibung seines etwas complicirten aber die grösste Genauigkeit sichernden Apparates findet man in den Mémoires de l'Academie des sciences de l'Institut von 1847. Die Resultate der Regnault'schen Versuche werden in §. 208 besprochen werden.

207 **Scheinbare Ausdehnung der Flüssigkeiten.** Die scheinbare Ausdehnung einer Flüssigkeit ist die Differenz zwischen ihrer absoluten Ausdehnung und der cubischen Ausdehnung des Gefässes, in welchem sie sich befindet. Um die scheinbare Ausdehnung zu bestimmen, kann man eine der beiden folgenden Methoden anwenden.

Man beobachtet den Gang eines Thermometers, von welchem man ganz genau ausgemittelt hat, in welchem Verhältnisse das Volumen eines solchen Röhrenstücks, welches zwischen je zwei Theilstrichen liegt, zum Inhalte der Kugel steht. Es ist in der Regel mit grossen Schwierigkeiten verbunden, dieses Verhältniss genau zu bestimmen.

Die zweite Methode beruht auf der Anwendung eines sogenannten Gewichtsthermometers, welches schon oben erwähnt wurde. Ein Glas-

gefäss, etwa von der Fig. 592 dargestellten Form, welches in eine

Fig. 592.



Fig. 593.



feine gekrümmte Spitze ausgezogen ist, wird mit der Flüssigkeit bei 0° gefüllt. Man bestimmt alsdann das Gewicht der bei 0° im Gefässe enthaltenen Flüssigkeit und erwärmt es, indem man es in ein geeignetes Wasser- oder Oelbad bringt. Je mehr die Temperatur steigt, desto mehr Flüssigkeit wird aus der feinen Oeffnung hervordringen. Aus der Menge der Flüssigkeit, welche auf diese Weise aus dem Gefässe heraustritt, kann man die scheinbare Ausdehnung ermitteln. Gesetzt, das Quecksilber, welches bei 0° einen solchen Apparat füllt, habe 264 Gramm gewogen; man habe es bis 100° erwärmt, und dabei sei so viel Quecksilber ausgetreten, dass das, was im Gefässe zurückbleibt, nur noch 260 Gramm wiegt, so ist klar, dass sich das Quecksilber, wenn die Ausdehnung des Gefässes unberücksichtigt bleibt, bei einer Temperaturerhöhung von 100° sich im Verhältniss von 260 zu 264 ausdehnte, dass also die scheinbare Ausdehnung des Quecksilbers von 0 bis 100 Grad $\frac{4}{260}$ oder $\frac{1}{65}$ beträgt.

Das Seite 644 angeführte Gewichts-Quecksilberthermometer, mit Hülfe dessen man die Temperatur des Oelbades bestimmt, ist ein Apparat dieser Art. Man bestimmt die Temperatur nach der Quantität des ausgetretenen Quecksilbers.

Eine andere von Gay-Lussac angegebene Form des Gewichtsthermometers ist Fig. 593 abgebildet. Der Hals eines Glasgefässes von entsprechender Grösse ist an einer Stelle ganz eng ausgezogen, so dass sich über der engen Stelle gewissermaassen ein Trichter befindet. Die engste Stelle des Halses *a* ist auf irgend eine Weise markirt. Man füllt nun die Kugel mit der zu untersuchenden Flüssigkeit, so dass sie noch über *a* hinaus im Trichter steht, und erkaltet das Ganze bis auf 0°, indem man den ganzen Apparat mit schmelzendem Schnee oder schmelzendem Eise umgiebt. Ist die Flüssigkeit bis auf 0° erkaltet, so entfernt man alle Flüssigkeit, welche noch über der Marke steht. Wenn man die so gefüllte Kugel wiegt, vom gefundenen Gewichte das des Glasgefässes abzieht, so erhält man das Gewicht der Flüssigkeit, welche bei 0° in die Kugel geht. Sobald man die Kugel erwärmt, dehnt sich die Flüssigkeit aus, sie steigt über die Marke *a* in den Trichter. Wenn man bis zu einer bestimmten Temperatur, etwa bis auf 100°, erwärmt hat, nimmt

man alle über a stehende Flüssigkeit wieder weg, und wiegt dann von Neuem. Nach den beiden Wägungen lässt sich dann leicht die scheinbare Ausdehnung berechnen.

Wenn die scheinbare Ausdehnung einer Flüssigkeit und die cubische Ausdehnung des Gefässes bekannt ist, so kann man die absolute Ausdehnung berechnen; umgekehrt kann man die cubische Ausdehnung des Gefässes bestimmen, wenn man die absolute und scheinbare Ausdehnung der Flüssigkeit kennt.

Dulong und Petit fanden für die scheinbare Ausdehnung des Quecksilbers in Glasgefässen von 0° bis 100° den Werth $\frac{1}{64,80}$, oder, was dasselbe ist, 0,015432. Da nun die absolute Ausdehnung des Quecksilbers nach ihren Versuchen für eine gleiche Temperaturerhöhung 0,018018 ist, so ist die cubische Ausdehnung des Glasgefässes 0,018018 — 0,015432 = 0,002586. Man findet aber den Ausdehnungscoëfficienten für die lineare Ausdehnung eines Körpers, wenn man den Ausdehnungscoëfficienten für die cubische Ausdehnung durch 3 dividirt. Für die Längenausdehnung des Glases ergiebt sich demnach der Ausdehnungscoëfficient 0,000862, nahezu gleich dem auf S. 632 angegebenen Werthe. Auf diesem Wege haben Dulong und Petit wirklich den Ausdehnungscoëfficienten des Glases bestimmt.

Durch sehr genaue Versuche hat Regnault gezeigt, dass die Ausdehnung verschiedener Glassorten bei höheren Temperaturen so ungleichförmig ist, dass dadurch ein ganz verschiedener Gang der Thermometer veranlasst wird, so dass zwei Thermometer, deren Kugeln aus verschiedenen Glassorten gefertigt sind und welche zwischen 0° und 100° genau mit einander gehen, über 100° hinaus differiren. So gab ein Thermometer von Krystallglas 340,07° an, während ein bis 100° mit ihm harmonirendes gleichzeitig in demselben Oelbade 333,72° zeigte; die Differenz beider Thermometer betrug also 6,35°.

208 **Ungleichförmigkeit der Ausdehnung der Flüssigkeiten.** Genauere Untersuchungen haben gezeigt, dass sich auch die Flüssigkeiten nicht der Temperatur proportional ausdehnen, sondern dass im Allgemeinen für gleiche Temperaturdifferenzen die Ausdehnung bei höheren Temperaturen bedeutender ist.

Bezeichnen wir das Volumen einer Flüssigkeit bei 0° mit 1, so wäre ihr Volumen bei t^0

$$V = 1 + at,$$

wenn die Ausdehnung stets den Temperaturen proportional bliebe; da aber diese Proportionalität nicht stattfindet, genügt diese Formel nicht mehr, und man muss Formeln von der Gestalt

$$V = 1 + at + bt^2 + ct^3$$

in Anwendung bringen; die Zahlenwerthe der constanten Factoren a, b

und c müssen natürlich für jede Substanz besonders nach zuverlässigen Versuchen berechnet werden.

Das Volumen des Quecksilbers, bei 0^0 gleich 1 gesetzt, ist nach Regnault's Bestimmung (siehe §. 206) bei t^0 des Luftthermometers gegeben durch die Formel

$$V = 1 + 0{,}000179007\,t + 0{,}0000000252316\,t^2,$$

also

bei 0^0	$= 1{,}000000$	bei 200^0	$= 1{,}036811$
„ 50	$= 1{,}009013$	„ 250	$= 1{,}046329$
„ 100	$= 1{,}018153$	„ 300	$= 1{,}055973$
„ 150	$= 1{,}027419$	„ 350	$= 1{,}065743.$

Ueber die Ausdehnung einer Reihe von verschiedenen Flüssigkeiten haben besonders Kopp und Pierre zahlreiche Versuche angestellt. Für einige der bekannteren Flüssigkeiten giebt Kopp zur Berechnung des Volumens bei t^0 folgende Formeln, das Volumen der Flüssigkeit bei 0^0 gleich 1 gesetzt.

Alkohol (specif. Gew. 0,80950; Siedpunkt $78{,}4^0$):

$$V = 1 + 0{,}00104139\,t + 0{,}0000007836\,t^2 + 0{,}000000017618\,t^3$$

(von 0^0 bis $79{,}8^0$ gültig).

Aether (specif. Gew. 0,73658; Siedpunkt $34{,}9^0$):

$$V = 1 + 0{,}00148026\,t + 0{,}00000350316\,t^2 + 0{,}000000027007\,t^3$$

(von 0^0 bis 33^0).

Die folgende Tabelle giebt das nach diesen Formeln berechnete Volumen der beiden genannten Flüssigkeiten von 10 zu 10 Grad.

	Alkohol	Aether
0	1,00000	1,00000
10	1,01052	1,01518
20	1,02128	1,03122
30	1,03242	1,04829
40	1,04404	—
50	1,05632	—
60	1,06910	—
70	1,08278	—
80	1,09735	—

Nach Kopp's Bestimmung ist ferner

für wässerige Schwefelsäure (von 1,755 specif. Gew. bei 0^0):

$$V = 1 + 0{,}000626\,t - 0{,}00000048836\,t^2 + 0{,}000000002795\,t^3;$$

für Olivenöl:

$$V = 1 + 0{,}000789\,t + 0{,}0000007726\,t^2 - 0{,}000000008274\,t^3;$$

für Terpentinöl:

$$V = 1 + 0{,}0009003\,t + 0{,}0000019595\,t^2 - 0{,}0000000045\,t^3.$$

Pierre giebt ähnliche Formeln; die nach ihnen berechneten Resultate stimmen sehr nahe mit den Kopp'schen überein.

Für schweflige Säure (Siedpunkt — 8°) giebt Pierre die Formel:

$$V = 1 + 0{,}0010382\,t + 0{,}0000017114\,t^2 + 0{,}000000005447\,t^3$$

(von — 7,4 bis + 60,2°);

für Chloräthyl (Siedpunkt 11°):

$$V = 1 + 0{,}0015746\,t + 0{,}0000028137\,t^2 + 0{,}000000015698\,t^3$$

(von — 31,6° bis + 96,4°);

für Schwefelkohlenstoff (Siedpunkt 47,9°):

$$V = 1 + 0{,}0011398\,t + 0{,}0000013707\,t^2 + 0{,}000000019123\,t^3$$

(von — 34,6° bis + 59,6°).

Setzen wir das Volumen der Flüssigkeit bei der Temperatur des Siedpunktes gleich 10000, so ist ihr Volumen für eine Temperatur von 10, von 20 u. s. w. Graden unter dem Siedpunkte nach den Formeln von Pierre, wie folgende Tabelle angiebt:

	Schweflige Säure.	Chloräthyl.	Schwefelkohlenstoff.	
0	10000	10000	10000	0
10	9820	9845	9878	10
20	9669	9698	9749	20
30	—	9556	9633	30
40	—	9419	9521	40
50	—	—	9413	50
60	—	—	9307	60
70	—	—	9201	70
80	—	—	9098	80

Wenn man durch verstärkten Druck die Verdampfung der Flüssigkeiten hindert und sie dann über den normalen Siedpunkt hinaus erwärmt, so nimmt mit steigender Temperatur der Ausdehnungscoëfficient rasch zu, um endlich selbst den Ausdehnungscoëfficient der Gase noch zu übertreffen. Thilorier hat dies zuerst für die flüssige Kohlensäure nachgewiesen und Drion hat es für Chloräthyl

und **flüssige schweflige Säure** bestätigt. Er fand (ohne Correction wegen der Glasausdehnung) den **mittleren Ausdehnungscoëfficienten**

für Chloräthyl:		für schweflige Säure:	
von 0° bis 100°	= 0,00157	von 0° bis 18°	= 0,00193
„ 121 „ 128	= 0,00360	„ 91 „ 98	= 0,00368
„ 128 „ 131	= 0,00421	„ 108 „ 115	= 0,00463
„ 144 „ 145	= 0,00553	„ 116 „ 122	= 0,00533
		„ 122 „ 127	= 0,00600

Dichtigkeitsmaximum des Wassers. Keine Flüssigkeit zeigt 209
in ihren durch die Wärme hervorgebrachten Volumveränderungen so grosse Ungleichförmigkeiten wie das Wasser, welches vor allen übrigen Flüssigkeiten besonders dadurch ausgezeichnet ist, dass es ein **Dichtigkeitsmaximum** besitzt. Wenn man von 0° an seine Temperatur erhöht, zieht es sich zusammen, bis die Temperatur auf + 4° C. gestiegen ist; bei fernerer Temperatur-Erhöhung dehnt es sich dann aus.

Fig. 594.

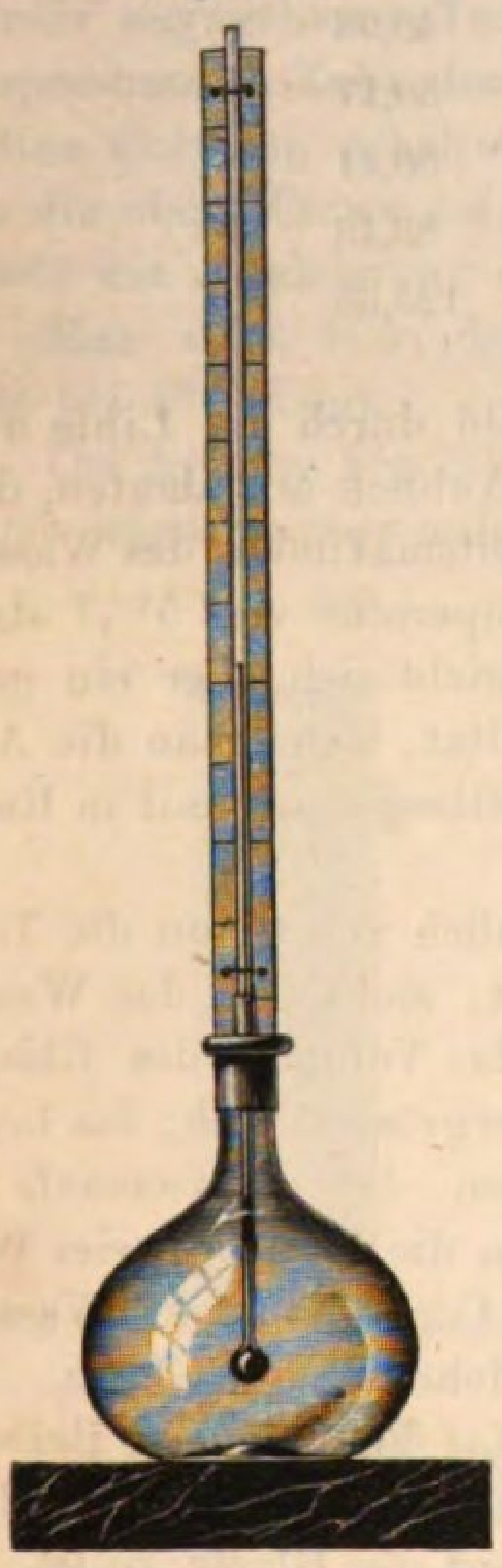
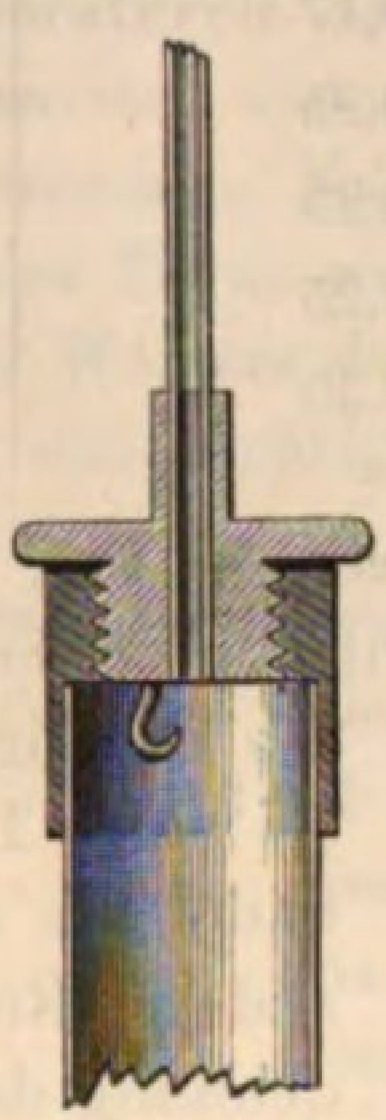


Fig. 595.



Bei einer Temperatur von 4° hat also das Wasser ein **Dichtigkeitsmaximum**. Am besten lässt sich dieses Phänomen an einem **Wasserthermometer** beobachten; um aber die Erscheinung recht deutlich zu machen, muss man ein Thermometer von etwas grossen Dimensionen anwenden; ganz besonders möchte in dieser Hinsicht der Fig. 594 abgebildete Apparat zu empfehlen sein. Ein Ballon, welcher ungefähr 1 Liter hält, ist mit einer messingenen Fassung versehen, in welche eine in Messing gefasste Glasröhre aufgeschraubt werden kann, wie Fig. 595 deutlicher zeigt. Zwischen der oberen Fläche der Fassung des Ballons und der Fassung der Röhre ist eine mit Talg getränkte Lederscheibe eingelegt, so dass man überzeugt sein kann, dass bei gehörigem Anziehen der Schraube hier kein Wasser entweicht. Am unteren Ende der Schraube ist ein Häkchen angebracht, an welches man ein Thermometer hängen kann. Dieses Thermometer, ganz von dem Wasser des Ballons umgeben, zeigt die Temperatur desselben. Zu genauer Messung der Temperatur kann jedoch dieses Thermometer nicht dienen, weil man es der Lichtbrechung wegen nicht ganz richtig

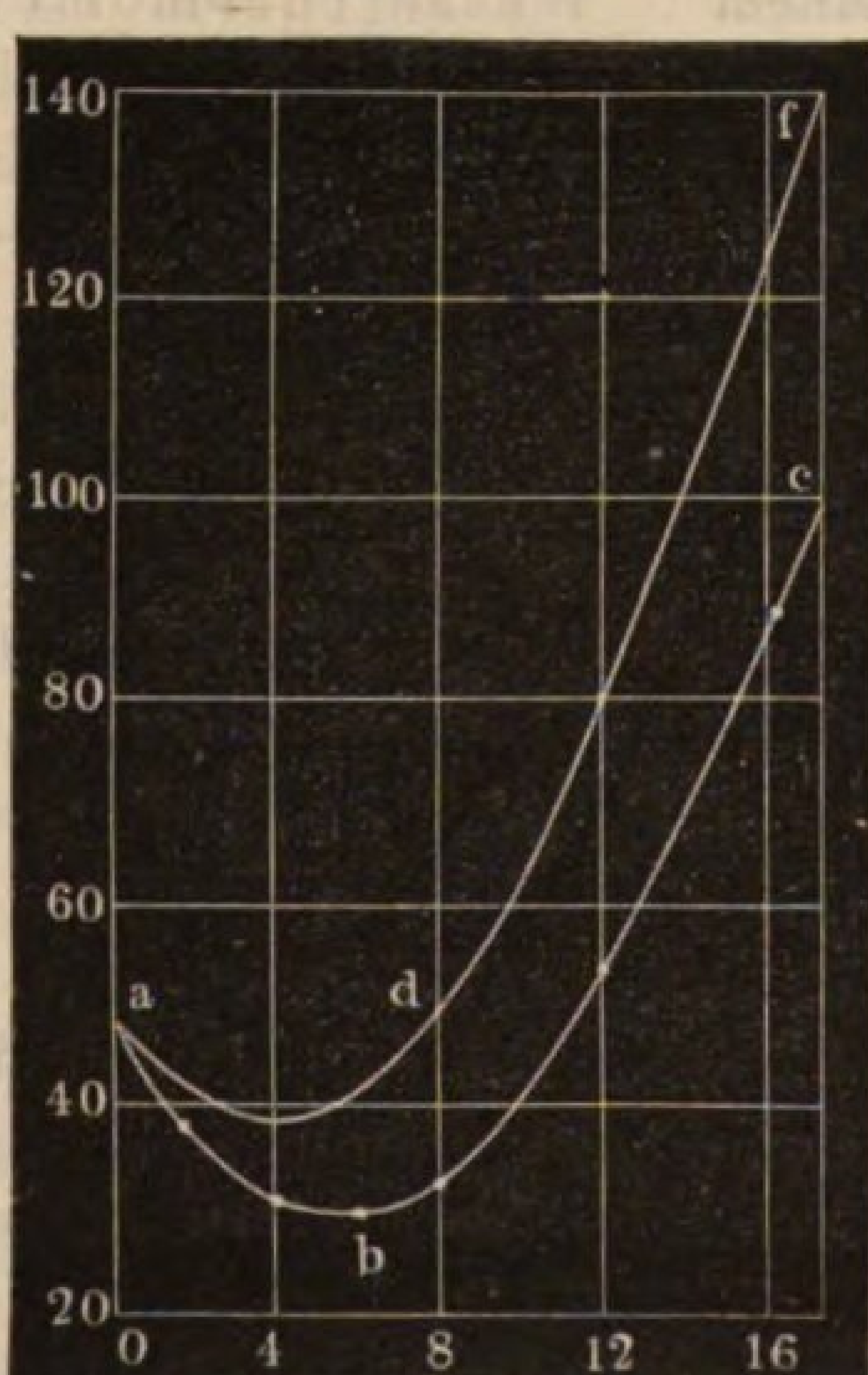
ablesen kann. An der Glasröhre ist ein getheilter Stab angebracht, um darauf die Variationen der Wassersäule im Rohre abzulesen. Zum Nullpunkte der Theilung kann man den untersten Punkt des getheilten Stabes nehmen.

Mit einem Apparate dieser Art wurden folgende Beobachtungen gemacht:

Temperatur des Wassers.	Stand des Wassers in der Röhre.	Reducirter Wasserstand.
0° C.	48,75cm	48,75cm
1,56	39,25	42,74
3,5	31,25	39,09
4	30,3	39,26
5,25	29,17	40,93
8	32,25	50,17
9	36,25	56,41
12	56,25	83,13
16,25	89,25	125,65

Diese Beobachtungsreihe, welche in Fig. 596 durch die Linie *abc* graphisch dargestellt ist, scheint auf den ersten Anblick anzudeuten, dass das Dichtigkeitsmaximum des Wassers bei einer Temperatur von $5^3/_4{}^0$ stattfindet; es ergiebt sich aber ein ganz anderes Resultat, wenn man die Ausdehnung des Glasgefässes mit in Rechnung bringt.

Fig. 596.



Wenn nämlich von 0° an die Temperatur steigt, zieht sich das Wasser zusammen, das Volumen des Glasgefässes aber vergrössert sich; das beobachtete Sinken der Wassersäule ist also gleichsam die Summe zweier Wirkungen, der Contraction des Wassers und der Ausdehnung des Glases.

Es sei V das Volumen des Ballons, Fig. 594, bei 0° und α der Ausdehnungscoëfficient des Glases, so ist

$$V\alpha t$$

die Vergrösserung des Volumens, welche das Gefäss bei einer Temperaturerhöhung von 0° bis t^0 erfährt, und

$$l = \frac{V\alpha t}{v}$$

die in Centimetern ausgedrückte Länge des Röhrenstückes, dessen Volumen gleich $V\alpha t$ ist, wenn v das Volumen eines 1 Centimeter langen Röhrenstückes bezeichnet. Es ist also l die Länge, um welche sich der Gipfel der Wassersäule bei der Temperatur t über den beobachteten Stand erheben würde, wenn keine Glasausdehnung stattfände.

Für den Apparat, mit welchem ich Versuche anstellte, war $V = 1016$ und $v = 0{,}0118$ Cubikcentimeter. Nehmen wir 0,000026 für den cubischen Ausdehnungscoëfficienten des Glases, so ist

$$l = \frac{1016 \,.\, 0{,}000026}{0{,}0118}\, t = 2{,}239\, t.$$

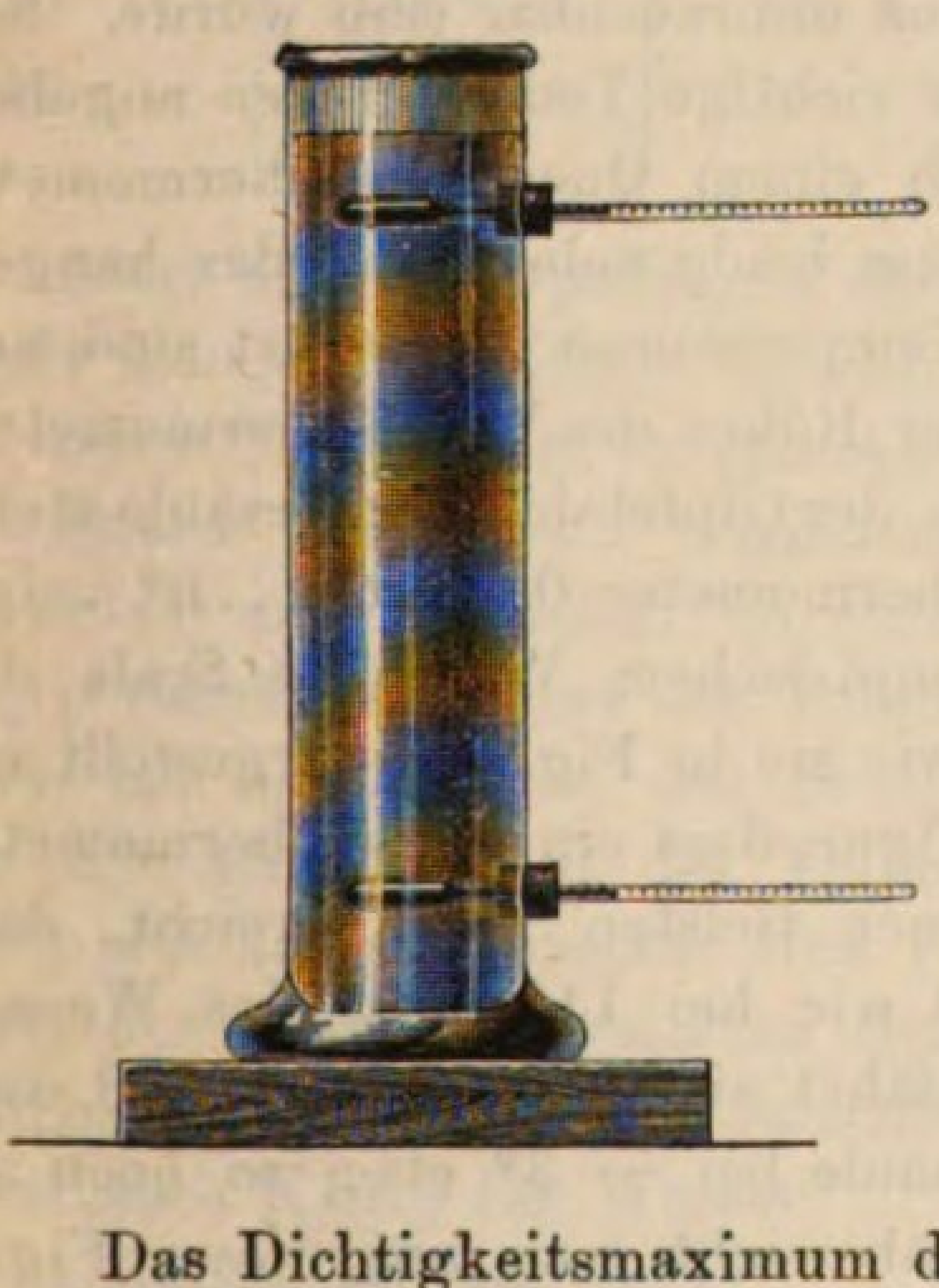
Bei einer Temperatur von 4° C. würde also der Gipfel der Wassersäule in unserem Apparat um 8,96 Centimeter über dem beobachteten Stand 30,3, also bei 39,26 stehen, wenn keine Glasausdehnung stattfände.

Auf dieselbe Weise ist nun für die in der ersten Columne obiger Tabelle angegebenen Temperaturen der Werth von l berechnet, zu der entsprechenden Zahl der zweiten Columne addirt und so die Zahlen der dritten Columne erhalten worden. Nach dieser dritten Columne ist endlich die obere Curve $a\,d\,f$ der Figur construirt worden, welche das wahre Gesetz der Ausdehnung des Wassers darstellt.

Man sieht hier, dass das Dichtigkeitsmaximum des Wassers in der That bei 4° C. liegt.

Der Apparat Fig. 594 wurde während einiger Wintermonate in einem ungeheizten Zimmer aufgestellt, in welchem kein rascher Temperaturwechsel stattfinden konnte, und nur dann eine Ablesung vorgenommen, wenn das Thermometer im Wasser dieselbe Temperatur zeigte, wie ein neben dem Apparate aufgehängtes, so dass man von der Gleichförmigkeit der Temperatur der ganzen Wassermasse überzeugt sein konnte. Bei der Beobachtungsreihe, deren Resultate in der Tabelle auf Seite 650 angeführt sind, wurden nicht alle Vorsichtmaassregeln angewendet, um ein ganz genaues Resultat zu sichern; doch sind diese Resultate der Wahrheit gewiss sehr nahe und dienen sehr gut, um den Gang des Phänomens zu übersehen.

Fig. 597.



Das Dichtigkeitsmaximum des Wassers wurde schon im 17ten Jahrhundert von den Mitgliedern der Academia del Cimento beobachtet.

Wenn man in ein Zimmer, dessen Temperatur nahe 0° ist, ein cylindrisches Gefäss, Fig. 597, stellt, welches mit Wasser von 8 bis 10° gefüllt ist und in welchem zwei Thermometer angebracht sind, wie die Figur zeigt, so werden beide Thermometer alsbald ein Sinken der

Temperatur anzeigen, doch sinkt das untere Thermometer rascher als das obere, bis es die Temperatur von 4⁰ erreicht hat. Nun bleibt es eine Zeit lang stationär, während das obere Thermometer zunächst auch auf 4⁰, alsdann aber auch noch unter 4⁰ sinkt, so dass jetzt das obere Thermometer niedriger steht als das untere. Es ist dies ein Beweis, dass das Wasser von 4⁰ ein grösseres specifisches Gewicht hat als das unter 4⁰ erkaltete.

Fig. 598.



Tralles, Hope und Hallström haben auf diese Weise die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums für das Wasser ermittelt.

Um den eben beschriebenen Versuch in Vorlesungen anstellen zu können, wird das cylindrische Gefäss, Figur 597, in der Mitte seiner Höhe mit einem Blechgefäss umgeben, welches mit Eisstücken gefüllt wird.

Die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums ist 4⁰, als Mittel aus den besten Beobachtungen, welche zwischen 3,780⁰ und 4,108⁰ schwanken. Diese Differenzen zwischen den Beobachtungen sind leicht erklärlich, wenn man bedenkt, wie ausserordentlich wenig sich die Dichtigkeit des Wassers in der Nähe dieses Punktes ändert.

Nach diesen Bemerkungen ist klar, dass ein Wasserthermometer in der Weise graduirt, wie ein Quecksilberthermometer, ganz unbrauchbar sein würde. Soll ein Wasserthermometer richtige Temperaturen angeben, so muss man es nach einem Quecksilberthermometer graduiren, d. h. man muss beide neben einander hängen, so dass sie gleichen Temperaturen ausgesetzt sind und dann die Punkte an der Röhre des Wasserthermometers bezeichnen, bei welchen der Gipfel der Wassersäule steht, wenn das Quecksilberthermometer 0, 1⁰, 2⁰ ... n^0 zeigt. So erhält man auf empirischem Wege die Scala des Wasserthermometers, wie sie in Fig. 598 dargestellt ist. Man sieht aus dieser Figur, dass ein Wasserthermometer ungefähr bei 6⁰ C. seinen tiefsten Stand erreicht, dass es bei 0⁰ ebenso steht wie bei 11⁰; dass das Wasser, unter 0⁰ erkaltet, fortfährt sich auszudehnen und dass der Gipfel der Wassersäule bei — 3⁰ eben so hoch als bei + 15⁰. Ferner übersieht man aus dieser Figur deutlich, wie ausserordentlich ungleich die Länge der einzelnen Grade auf der Röhre eines Wasserthermometers ausfällt.

Soll die Theilung des Wasserthermometers Fig. 598 nicht zu klein werden, so muss das Gefäss doch un-

gefähr 150 Cubikcentimeter Inhalt haben, wenn der Durchmesser der Röhre 1 Millimeter beträgt.

Dass der niedrigste Stand des Wasserthermometers nicht mit der Temperatur des Dichtigkeitsmaximums zusammenfällt, rührt von dem Einflusse der Glasausdehnung her, wie nach der Darstellung auf Seite 650 wohl verständlich sein wird.

Die Dichtigkeit des Wassers für verschiedene Temperaturen zwischen 0° und 20° bestimmte Hallström mit Hülfe der hydrostatischen Wage. Nach seinen Beobachtungen beträgt die Contraction des Wassers von 0° bis zur Temperatur der grössten Dichtigkeit 0,00010824 seines Volumens. Despretz suchte die Dichtigkeit des Wassers zwischen 4° und 100° durch die Beobachtung thermometerartiger Apparate zu bestimmen. Er machte 19 Beobachtungen zwischen 4° und 100° und entwarf danach mittelst graphischer Interpolation eine Tabelle, von welcher die folgende ein Auszug ist.

Wahre Volumina des Wassers nach Despretz.

Temperatur.	Volumen.	Temperatur.	Volumen.	Temperatur.	Volumen.
4° C.	1,0000000	20° C.	1,00179	60° C.	1,01698
6	1,0000309	25	1,00293	70	1,02255
8	1,0001216	30	1,00433	80	1,02885
10	1,0002684	40	1,00773	90	1,03566
15	1,0008751	50	1,01205	100	1,04315

Setzt man das specifische Gewicht des Wassers bei 4° gleich 1, so erhält man das specifische Gewicht für jede andere Temperatur, wenn man das dieser Temperatur entsprechende Volumen in 1 dividirt.

Später haben sich besonders noch Pierre, Kopp, Plücker und Geissler mit Versuchen über die Ausdehnung des Wassers beschäftigt. Kopp suchte besonders das Volumen des Wassers bei höheren Temperaturen bis in die Nähe des Siedpunktes mit Genauigkeit zu ermitteln. Für die Abhängigkeit des Volumens von der Temperatur konnte er so wenig wie andere Physiker eine Formel finden, welche für alle Temperaturen den Versuchsresultaten Genüge leistet; für verschiedene Temperaturintervalle muss man verschiedene Formeln in Anwendung bringen; so ist nach Kopp für Wasser

zwischen 0° und 25° C.

$$V = 1 - 0{,}000061045\,t + 0{,}0000077183\,t^2 - 0{,}00000003734\,t^3;$$

von 25° bis 50°

$$V = 1 - 0{,}000065415\,t + 0{,}0000077587\,t^2 - 0{,}000000035408\,t^3;$$

von 50° bis 75°

$$V = 1 + 0{,}00005916\,t + 0{,}0000031849\,t^2 + 0{,}0000000072848\,t^3;$$

von 75° bis 100°

$$V = 1 + 0{,}00008645\,t + 0{,}0000031892\,t^2 + 0{,}0000000024487\,t^3.$$

Danach ist folgende Tabelle berechnet:

t	V	t	V
0°	1,000000	50°	1,011766
5	0,999883	60	1,016590
10	1,000124	70	1,022246
20	1,001567	80	1,028581
30	1,004064	90	1,035397
40	1,007531	100	1,042986

Frankenheim hat nach Pierre's Versuchen, welche für niedrigere Temperaturen sehr gut mit denen von Kopp übereinstimmen, ähnliche Formeln berechnet. Für Temperaturen von — 15° bis 0° giebt er die Formel

$$V = 1 - 0{,}00009417\,t + 0{,}000001449\,t^2 - 0{,}0000005985\,t^3.$$

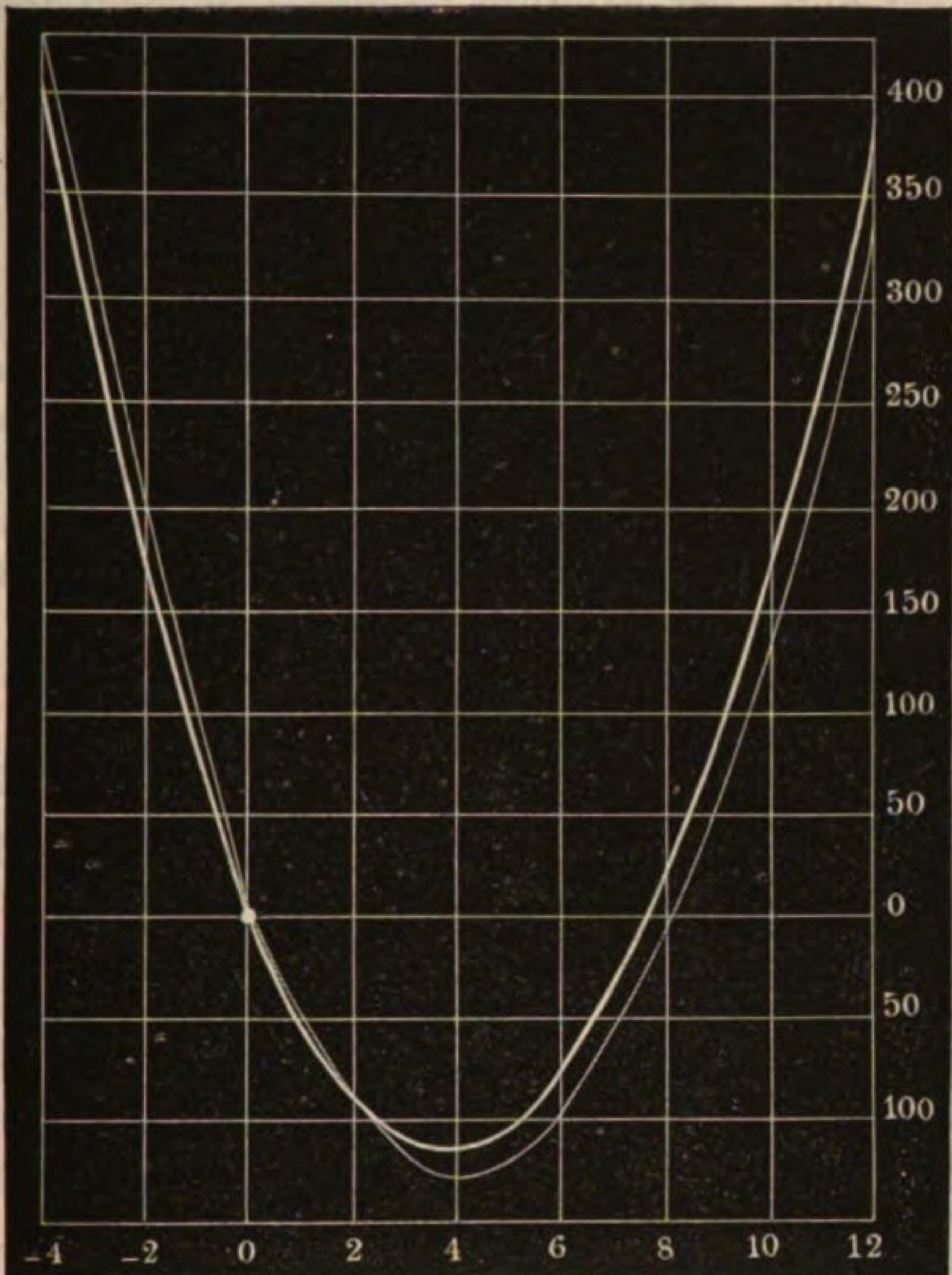
Hiernach sind für Temperaturen unter dem Gefrierpunkte Folgendes die zusammengehörigen Werthe von t und V

t	V
— 15°	1,0037384
— 10	1,0016851
— 5	1,0005819
0	1,0000000

In Fig. 599 ist der Gang der Ausdehnung des Wassers zwischen — 4° und + 12° nach den Versuchen von Plücker und Geissler graphisch dargestellt und zwar durch die stark gezogene Curve. Die andere Curve entspricht den Versuchen von Despretz, welche sich sehr gut auf die von Plücker und Geissler erhaltenen Resultate reduciren lassen, wenn man annimmt, dass er nur einen unbedeutenden Fehler in der Bestimmung der Glasausdehnung gemacht habe.

Die Abscissen dieser Figur sind den Temperaturgraden, die Ordinaten den Milliontheilen des Volumens von 0° proportional.

Fig. 599.



Ausdehnung der Körper beim Uebergang aus dem festen in den flüssigen Zustand. In der Nähe derjenigen Temperaturgrade, bei welchen der Uebergang eines Körpers aus einem Aggregatzustand in den anderen stattfindet, ist seine Ausdehnung meist unregelmässig; im Moment des Flüssigwerdens fester Körper findet dann häufig noch eine gleichsam stossweise Volumveränderung statt. Einzelne hierhergehörige Thatsachen, namentlich beim Wasser, sind schon längst bekannt; eine zusammenhängende Untersuchung über die Aenderung des Volumens einer Reihe von festen Körpern im Moment des Schmelzens hat aber erst Kopp angestellt. 210

Er bediente sich zu dieser Untersuchung thermometerartiger Apparate, deren Einrichtung aus Fig. 600 deutlich sein wird. (Annal. der Chem. und Pharm. Bd. XCIII.) — Ein Glasröhrchen *a*, welches den zu untersuchenden festen Körper enthält, wird in einen etwas weiteren, unten zugeschmolzenen Glascylinder eingesetzt, und dieser, nachdem er mit einer passenden Flüssigkeit gefüllt worden ist, durch einen Kork geschlos-

sen, in dessen Mitte ein graduirtes Glasröhrchen steckt. Man muss dabei die grösste Vorsicht anwenden, dass in dem durch den Kork abgesperrten Raume durchaus keine Luftblasen zurückbleiben.

Damit der Kork, der natürlich fehlerfrei sein muss, fest und sicher schliesst, wird er erst mit Wasser durchfeuchtet und dann in Oel getaucht, welches über 100° erwärmt ist; das Oel tritt dann durch den ganzen Kork hindurch an die Stelle des verdampfenden Wassers und macht ihn undurchdringlich für Wasser. Damit der Kork besser festsitzt, ist der obere Rand des Glascylinders etwas eingezogen.

Fig. 600.



Zunächst wurde nun das Gewicht des leeren Apparates bestimmt, sodann das absolute und specifische Gewicht des zu untersuchenden Körpers ermittelt und, nachdem der noch übrige Raum des Apparates mit Wasser gefüllt und der Kork aufgesetzt war, durch eine dritte Wägung das Gewicht des eingeschlossenen Wassers bestimmt.

Der so vorgerichtete Apparat wurde nun nebst einem Thermometer in ein Oelbad gebracht, welches durch eine untergesetzte Weingeistlampe einige Zeit hindurch auf einer constanten Temperatur erhalten werden konnte, welche um so höher stieg, je grösser die Flamme der Lampe gemacht wurde. Wenn man überzeugt sein konnte, dass der Apparat vollständig die Temperatur des Oelbades angenommen habe, wurde jedesmal der Stand des Thermometers und der Stand des Wassers in der graduirten Röhre des Apparates abgelesen. Aus diesen Ablesungen kann man nun die Ausdehnung des im Röhrchen *a* enthaltenen Körpers berechnen, vorausgesetzt, dass man den Rauminhalt der Röhre zwischen je zwei Theilstrichen, das Ausdehnungsgesetz der Flüssigkeit im Apparate (in den meisten Fällen Wasser) und das Ausdehnungsgesetz des Glasgefässes gehörig in Betracht zieht.

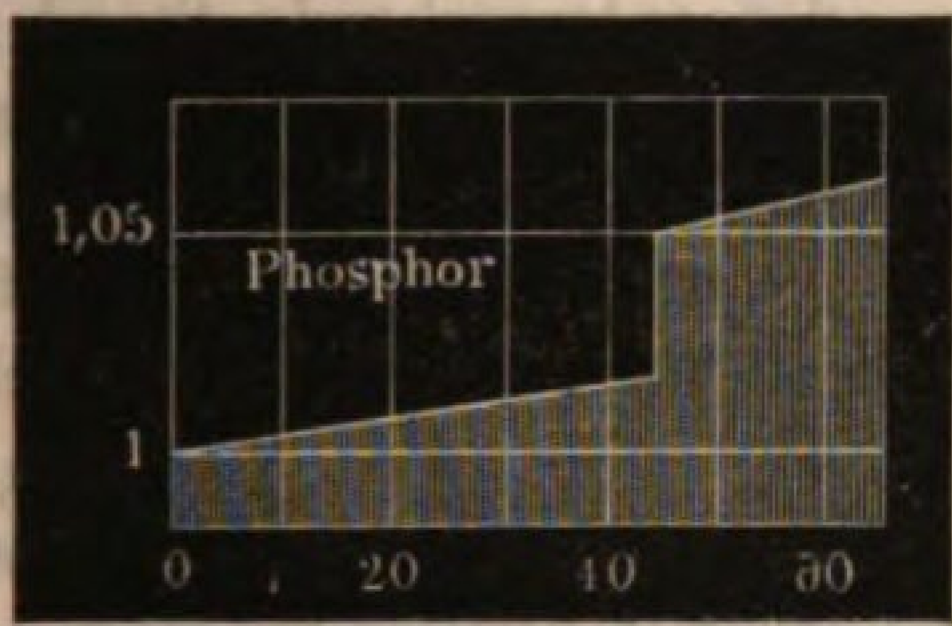
Um die Ausdehnung zu ermitteln, welche bei der Schmelzung des festen Körpers stattfindet, muss man den Stand des Wassers in der graduirten Röhre des Apparates, Fig. 600 bei einer Temperatur beobachten, welche nur wenig unter dem Schmelzpunkte liegt, und dann nach erfolgter Schmelzung eine zweite Beobachtung möglichst nahe über dem Schmelzpunkte machen.

Nach dieser Methode fand Kopp das Volumen des **Phosphors**, (Schmelzpunkt 44° C.) für

0° C.	1,0000
20	1,0077
40	1,0153
44	1,0160 fest
	1,0517 flüssig
50	1,0549
70	1,0656.

Diese Resultate sind in Fig. 601 graphisch dargestellt. Der Phosphor, welcher sich vor und nach der Schmelzung ziemlich gleichförmig ausdehnt, erfährt also eine stossweise Ausdehnung im Moment der Schmelzung.

Fig. 601.



Für **Schwefel** (rhombisch krystallisirten) fand **Kopp** die den verschiedenen Temperaturen entsprechenden Volumina wie folgt:

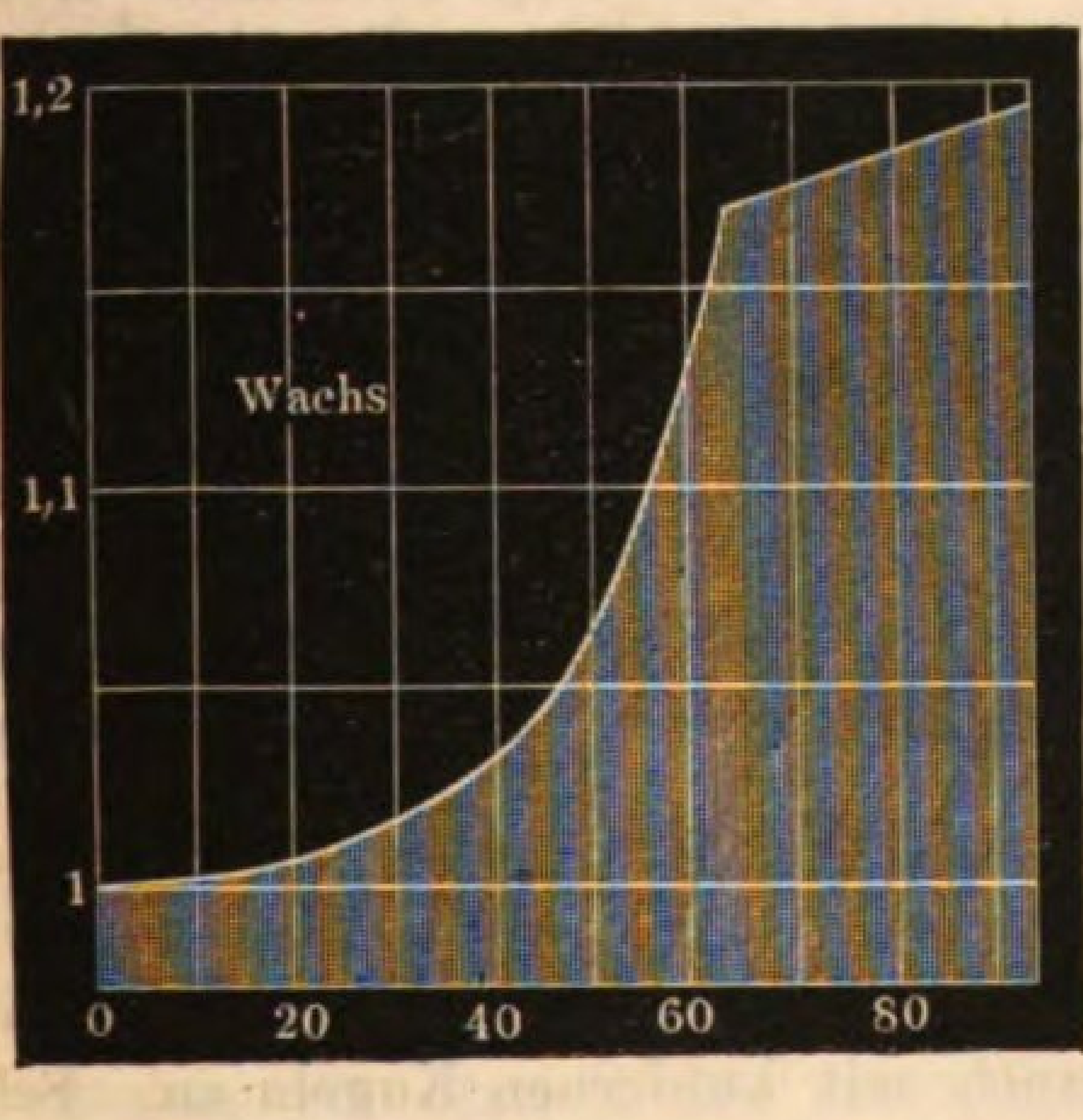
0° C.	1,0000
30	1,0051
60	1,0127
90	1,0202
115	1,0956 fest 1,1504 flüssig
140	1,1636
160	1,1741.

Bis gegen 60° hin ist die Ausdehnung des Schwefels unbedeutend und ziemlich gleichförmig; von 90° an wächst sie bedeutend, um bei der Schmelzung noch eine stossweise Zunahme zu erfahren.

Bei den Versuchen mit Schwefel war verdünnte Schwefelsäure statt Wasser in dem Apparate, Fig. 600, angewandt worden.

Fig. 602 stellt, nach Kopp's Versuchen, das Ausdehnungsgesetz des **weissen Wachses** (Schmelzpunkt 64°) und Fig. 603 (a. f. S.) das des **Stearins** (Schmelzpunkt 60°) dar. Der letztere Körper zeigt die Eigenthümlichkeit, dass er sich bei 50° plötzlich zusammenzieht, um sich nachher bei steigender Temperatur rasch wieder auszudehnen.

Fig. 602.

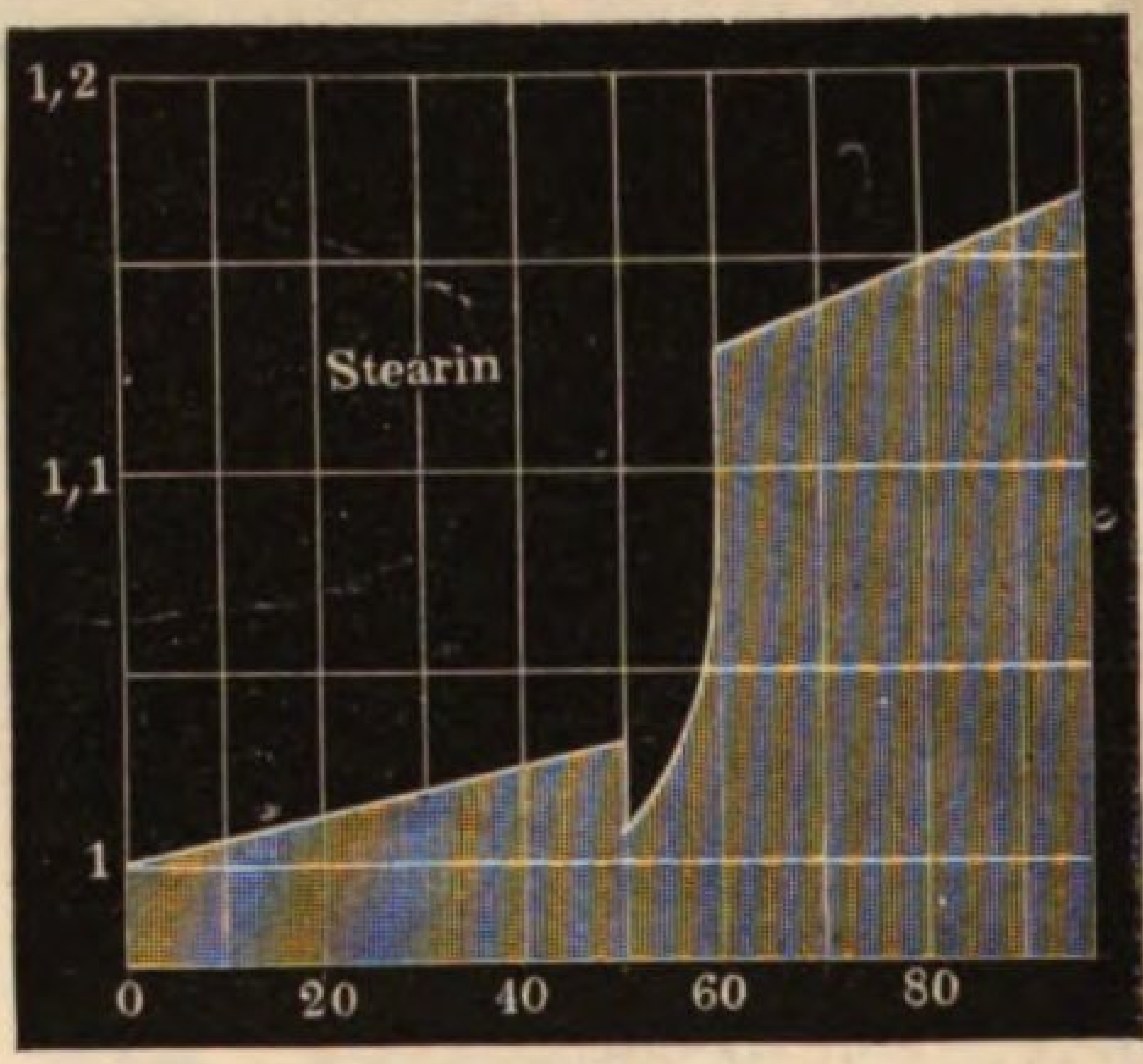


Ein ganz eigenthümliches Verhalten beobachtet man beim Erstarren des **Wassers**, indem sich dasselbe beim Uebergang aus dem flüssigen in den festen Zustand **bedeutend** ausdehnt, was dann auch zur Folge hat, dass das **Eis** auf Wasser, selbst auf kochendem, schwimmt.

Um die Ausdehnung des Wassers im Momente des Gefrierens zu ermitteln, wurde das Röhrchen *a*, Fig. 600, mit **luftfreiem** Wasser und

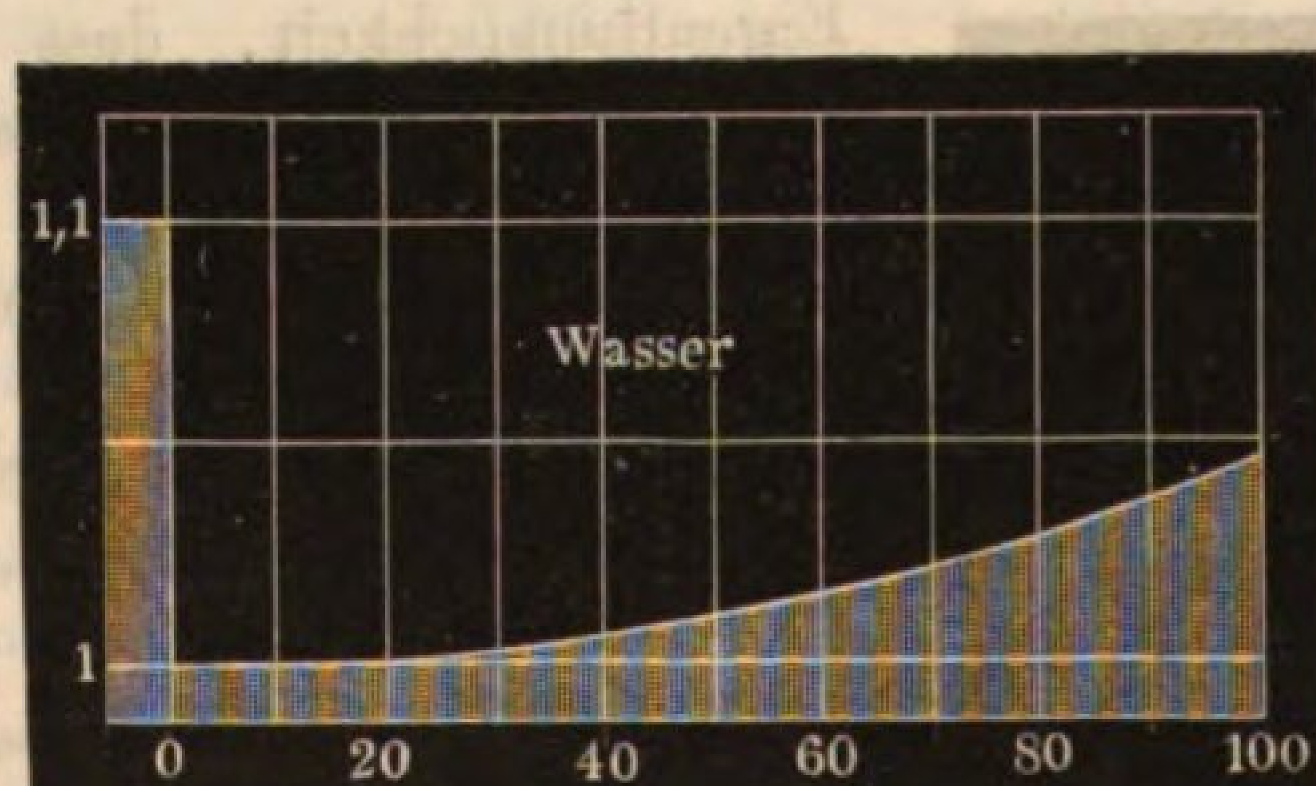
der übrige Apparat mit Terpentinöl gefüllt. Zuerst wurde der ganze Apparat durch Eintauchen in schmelzenden Schnee auf 0° erkaltet und der entsprechende Stand der Messröhre abgelesen; danach wurde der Apparat in eine Kältemischung von ungefähr — 10° gesetzt, und nach dem Erstarren des Wassers die Messröhre abermals abgelesen. Nach Kopp's Versuchen ist das specifische Gewicht des Eises bei 0 Grad 0,908, also die Ausdehnung, welche das Wasser im Moment des Festwerdens erleidet, $^1/_{10}$ von dem Volumen des Wassers bei 0°. Nach Plücker und Geissler (Pogg. Annal. T. CLXIII.) ist das specifische Gewicht des Eises bei 0° gleich 0,9158, nach Brunner ist es 0,918.

Fig. 603.



Dufour bestimmte das specifische Gewicht des luftfreien Eises dadurch, dass er eine Mischung von Steinöl (specifisches Gewicht 0,82) und Chloroform (specifisches Gewicht 1,50) herstellte, in welcher ein Eisstück eben schwebt, und dann das specifische Gewicht dieser Mischung ermittelte. Durch eine grosse Reihe nach dieser Methode mit Sorgfalt angestellter Versuche fand Dufour das specifische Gewicht des Eises bei 0° gleich 0,9178; die Ausdehnung im Moment des Erstarrens beträgt demnach 0,0895 oder nahe $^1/_{11}$ vom Volumen des Wassers bei 0°.

Fig. 604.



Die Contraction des Eises beim Schmelzen und die Ausdehnung des Wassers bei einer Temperaturerhöhung von 0 bis 100° sind in Fig. 604 graphisch dargestellt.

Die bei der Eisbildung stattfindende Raumvergrösserung geht mit solcher Gewalt vor sich, dass vollständig mit Wasser gefüllte und wohl verschlossene Gefässe in Folge der Eisbildung bersten. Die Akademiker von Florenz stellten diesen Versuch mit kupfernen Kugeln an. Selbst eiserne Bombenkugeln hat man auf diese Weise auseinander getrieben.

Dass das Eis um so kleineres Volumen einnimmt, je tiefer die Temperatur unter 0° sinkt, ist bereits am Schlusse des §. 203 bemerkt worden.

Ausdehnung gasförmiger Körper. Da die Wärme ein Agens ist, welches die Körper ausdehnt, also die Theilchen weiter von einander entfernt, so wirkt sie offenbar der Cohäsionskraft entgegen. Nun aber wirkt die Cohäsionskraft bei festen Körpern am stärksten, die ausdehnende Kraft der Wärme wird also bei festen Körpern den grössten Widerstand zu überwinden haben; die festen Körper können also diesem Raisonnement zufolge durch die Wärme nicht so stark ausgedehnt werden als flüssige und gasförmige. Die Erfahrung bestätigt dies vollkommen. Wir können aber weiter schliessen, dass, da die Cohäsionskraft, welche die Theilchen verschiedener fester Körper zusammenhält, nicht gleich ist, verschiedene feste Körper sich ungleich ausdehnen werden. Bei hohen Temperaturen sind die Theilchen der festen Körper schon weiter von einander entfernt als bei niedrigen, bei hohen Temperaturen setzt also die Cohäsionskraft einer ferneren Ausdehnung auch einen geringeren Widerstand entgegen; bei hohen Temperaturen wird also der Ausdehnungscoëfficient eines und desselben festen Körpers grösser sein müssen als bei niedrigen. Auch dies wird durch die Erfahrung bestätigt. Ueberträgt man diese Schlüsse auf Flüssigkeiten, so folgt, dass verschiedene Flüssigkeiten verschiedene Ausdehnungscoëfficienten haben werden, und dass dieselbe Flüssigkeit sich bei höheren Temperaturen verhältnissmässig mehr ausdehnen werde als bei niedrigen, was auch, wie wir beim Quecksilber, Weingeist und Wasser gesehen haben, der Fall ist. 211

Bei gasförmigen Körpern ist die Wirkung der Cohäsionskraft auf die einzelnen Theilchen gleich Null, die Cohäsionskraft setzt also der ausdehnenden Kraft der Wärme kein Hinderniss mehr entgegen. Daraus ergeben sich mehrere wichtige Folgerungen. Erstens müssen gasförmige Körper durch die Wärme bei Weitem stärker ausgedehnt werden als feste und flüssige, was schon durch die oberflächlichsten Versuche bestätigt wird; zweitens muss aber auch die Ausdehnung durch die Wärme nicht nur für alle Gasarten, sondern auch für alle Temperaturen dieselbe sein, d. h. der Ausdehnungscoëfficient ist derselbe für alle gasförmigen Körper, und alle Gase dehnen sich stets der Zunahme der Temperatur proportional aus.

Die Versuche bestätigen in der That, dass sich alle Gasarten fast in gleichem Verhältnisse ausdehnen; dass aber die Ausdehnung der Gase der Temperaturzunahme proportional ist, lässt sich durch Versuche nicht nachweisen, weil wir ja ausser der Ausdehnung gar kein Mittel zur Messung der Temperatur haben.

Obgleich uns aber hier der directe Beweis durch den Versuch fehlt, so dürfen wir dennoch die gleichmässige Ausdehnung der Luft um so mehr als wahr ansehen, als alle übrigen Folgerungen des Raisonnements, welche uns endlich zu diesem Schlusse führten, durch alle Versuche vollständig bewahrheitet sind.

Man hatte sich lange vergeblich bemüht, den Ausdehnungscoëfficienten der Luft zu bestimmen; man erhielt stark unter sich abweichende Resultate, was darin lag, dass man die angewendete Luft nicht gehörig von Wasserdämpfen befreit hatte, welche, wie wir bald sehen werden, die Resultate wesentlich modificiren. Gay-Lussac war der Erste, welcher constante Resultate erhielt. Nach seinen Bestimmungen ist der Ausdehnungscoëfficient der Luft 0,375, d. h. wenn man Luft von 0^0 bis auf 100^0 erwärmt, so dehnt sie sich um 0,375 oder $^3/_8$ ihres Volumens aus, vorausgesetzt, dass der Druck, unter welchem die Luftmasse steht, sich nicht verändert.

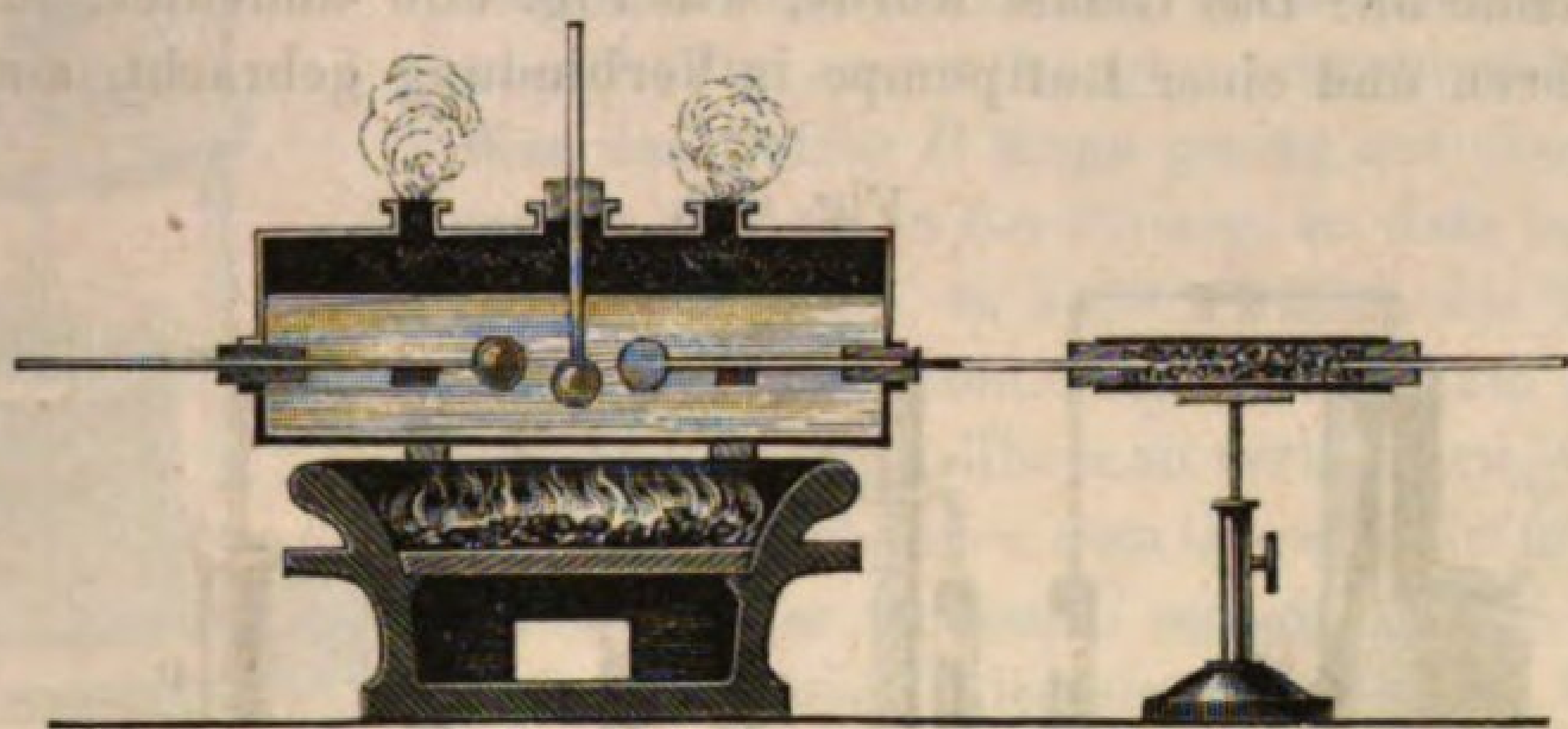
Gay-Lussac bediente sich zu seinen Versuchen einer Glasröhre, welche, ungefähr 30 bis 40^{cm} lang, 1 bis $1,5^{mm}$ Durchmesser hatte, und an deren einem Ende eine Kugel von etwa 0,8 bis 1^{cm} Durchmesser angeblasen war. Die Röhre war graduirt und das Verhältniss des Kugelinhalts zum Volumen der durch die Theilstriche auf der Röhre gemachten Abtheilungen genau bestimmt. Man gelangt dazu, indem man erst die Kugel und einen Theil der Röhre mit Quecksilber füllt und das Gewicht des Quecksilbers bestimmt, dann von Neuem Quecksilber zufüllt und abermals wiegt. Aus dem Verhältniss der gefundenen Gewichte lässt sich dann auf das Verhältniss der Volumina schliessen.

Nachdem auf diese Weise der Rauminhalt der Kugel und der Röhre gehörig verglichen sind, muss die Kugel mit trockener Luft gefüllt und dafür gesorgt werden, dass alle Feuchtigkeit, welche etwa noch an den Glaswänden anhängt, vollständig entfernt werde. Dies wird dadurch erreicht, dass man Quecksilber in der Röhre sieden lässt, gerade so, wie man beim Füllen eines gewöhnlichen Thermometers verfährt. Ist so die Feuchtigkeit entfernt und die Kugel sammt der Röhre mit Quecksilber angefüllt, so befestigt man am offenen Ende der Röhre ein weiteres Glasrohr, welches mit Stückchen von Chlorcalcium gefüllt ist. Bringt man nun die Röhre in die verticale Stellung, so fliesst das Quecksilber aus, und Luft tritt statt dessen in die Röhre und die Kugel ein, welche trocken ist, weil sie zwischen den Chlorcalciumstücken hat hindurchstreichen müssen.

Um das Ausfliessen des Quecksilbers aus dem etwas engen Rohre zu beschleunigen, steckt man durch die Chlorcalciumröhre hindurch in die Röhre des Luftthermometers einen Eisendraht, den man nur etwas auf- und niederzuschieben nöthig hat, um das Quecksilber herauszubringen. Wenn man so alles Quecksilber bis auf eine geringe Menge aus der Röhre entfernt hat, zieht man den Draht zurück. Die kleine Quecksilbersäule, welche noch zurückbleibt, dient als Index. Es besteht auf diese Weise keine Verbindung zwischen der Luft, welche in der Kugel abgesperrt ist, und der äusseren Luft, und die Röhre kann also ganz offen bleiben. Bringt man nun dies Instrument in eine horizontale Lage, so hat man ein Luftthermometer.

Man beobachtet den Theilstrich der Röhre, bei welchem sich der Index feststellt, wenn der Apparat in gestossenes schmelzendes Eis gebracht wird. Da man weiss, wie vielmal das Volumen einer Röhrenabtheilung in dem Volumen der Kugel enthalten ist, so ist durch diese Beobachtung das Volumen ausgemittelt, welches die abgesperrte trockene Luft bei 0^0 einnimmt. Nun bringt man das Instrument in einen Kasten, Fig. 605, der mit Wasser gefüllt ist, welches man bis zu einer beliebigen Temperatur t erwärmen kann, und zwar so, dass die Röhre noch aus der

Fig. 605.



Wand des Kastens hervorragt. Die Röhre wird gerade bis zum Index in den Kasten hineingeschoben, damit alle abgesperrte Luft die Temperatur des Bades annehme. Bei dieser Erwärmung dehnt sich die abgesperrte Luft aus, der Index wird weiter von der Kugel fortgetrieben, und man beobachtet, wo er sich bei irgend einer bestimmten Temperatur feststellt. Dadurch ist das vergrösserte Volumen bekannt.

Sollte sich während des Versuches der Barometerstand geändert haben, so ist diese Veränderung mit in Rechnung zu bringen.

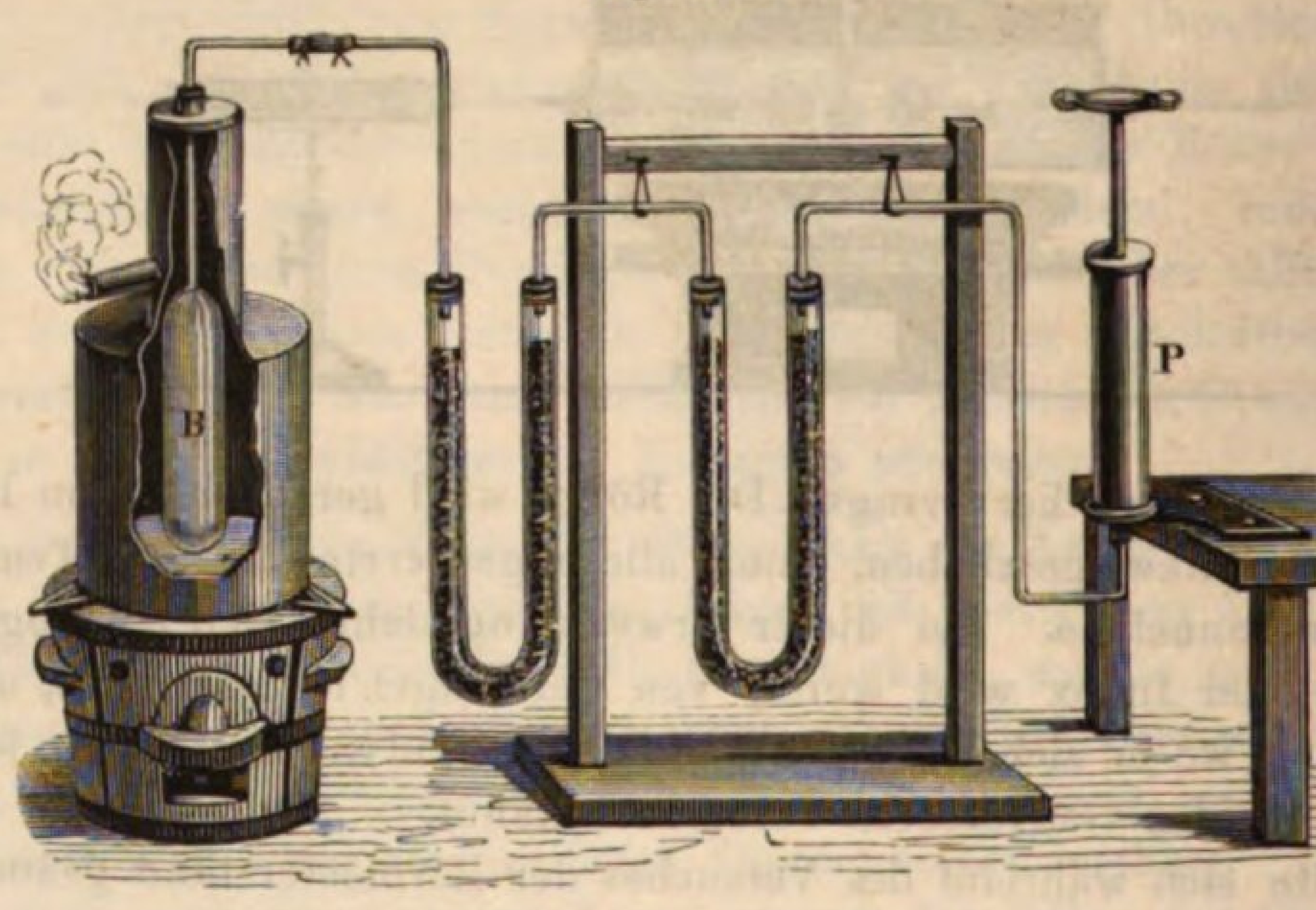
Die cubische Ausdehnung des Glasgefässes ist auch noch in Rechnung zu bringen. Die Correction, welche dadurch veranlasst wird, ist jedoch im Vergleich zu der Ausdehnung der Luft höchst unbedeutend. Wenn man den Ausdehnungscoëfficienten der Luft für eine Temperaturerhöhung von 100^0 ohne Berücksichtigung der Ausdehnung des Glases ermittelt, so hat man zu demselben, um die Vernachlässigung zu corrigiren, noch 0,002 zu addiren.

Mit Berücksichtigung aller Correctionen fand Gay-Lussac für den Ausdehnungscoëfficienten der trockenen Luft sowohl als aller trockenen Gasarten den schon angeführten Werth 0,375. Bei einer Untersuchung, welche Rudberg über die Schmelzpunkte von Zinn, Kadmium und Blei ausführte, drängten sich ihm Zweifel über die Richtigkeit dieser für die Wissenschaft so wichtigen Constanten auf. Er suchte dieselbe nach einer anderen Methode zu bestimmen und fand statt 0,375 die Zahl 0,365.

Rudberg wandte zu seinen Versuchen eine nicht gar lange, mit einem kugelförmigen oder cylindrischen Gefäss von 6 bis 7 Cubikcentimeter Inhalt versehene Thermometerröhre an, welche auf der anderen Seite in

eine feine Spitze ausgezogen war. Das Gefäss wird dadurch mit trockener Luft gefüllt, dass man die Spitze der Röhre mittelst eines Korkes in eine Chlorcalciumröhre steckt und sie alsdann durch die Spirituslampe erwärmt. Dadurch wird ein Theil der in dem Gefäss enthaltenen Luft ausgetrieben, und diejenige Luftmenge, welche dafür beim Erkalten der Kugel wieder eintritt, ist vollkommen trocken, weil sie ja erst zwischen den Chlorcalciumstücken hindurchstreichen musste. Diese Operation wiederholte Rudberg etwa 50 Mal, um auch die letzte Spur von Feuchtigkeit aus der Kugel zu entfernen. Statt dieser Austrocknungsmethode wendete er auch folgende an: Das Gefäss wurde, wie Fig. 606 andeutet, mit Chlorcalciumröhren und einer Luftpumpe in Verbindung gebracht, ausgepumpt

Fig. 606.



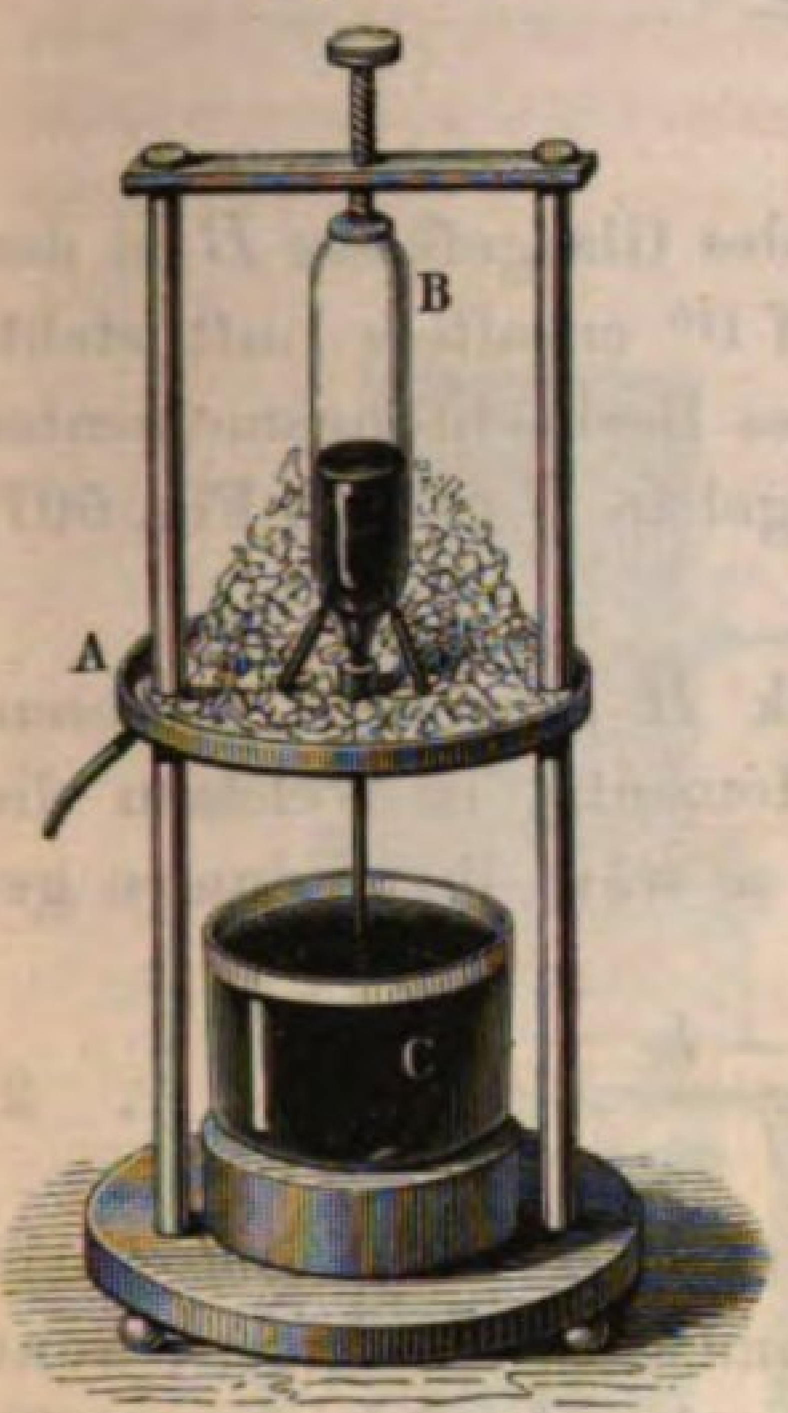
und dann wieder Luft in die Kugel eingelassen, welche vorher auch durch das Chlorcalcium streichen musste. Auch diese Operation wurde gegen 50 Mal wiederholt. Die Resultate fielen ganz gleich aus, es mochte nun die eine oder die andere Austrocknungsmethode angewendet worden sein.

Nachdem die Luft im Gefäss *B* vollständig ausgetrocknet war, wurde es in einen Siedeapparat gebracht, d. h. in ein Gefäss von der Art, wie dies Fig. 606 gleichfalls andeutet, so dass das Gefäss *B* und der grösste Theil der Röhre von den Dämpfen des siedenden Wassers umgeben war. Nachdem man das Sieden des Wassers fast eine Stunde lang unterhalten hatte, konnte man sicher sein, dass die Luft in der Kugel und in der Röhre wirklich die Temperatur des siedenden Wassers angenommen habe, und nun wurde die Spitze der Röhre mit dem Löthrohre zugeschmolzen.

Nachdem das Gefäss erkaltet war, wurde es auf ein durch einen besonderen Träger gehaltenes Metallschälchen *A*, Fig. 607, gebracht. Dieses Schälchen hatte ungefähr die Grösse und Gestalt eines Uhrglases; es hat in der Mitte eine Oeffnung, durch welche die an dem Gefässe *B* befindliche Röhre hindurchgesteckt wird, so dass die zugeschmolzene

Spitze nach unten gerichtet ist. Lässt man die Spitze in ein Gefäss mit Quecksilber eintauchen, so wird, wenn man sie abbricht, das Quecksilber durch die Röhre in das Gefäss eindringen und einen Theil derselben ausfüllen, weil die Luftmenge, welche bei der Siedetemperatur das Gefäss B ganz ausfüllte, jetzt einen kleineren Raum einnimmt. Die noch in B enthaltene Luft muss aber auf 0^0 erkaltet werden, und dies geschieht dadurch, dass man schmelzenden Schnee auf das Schälchen bringt. In dem Maasse, als der Schnee wegschmilzt, muss neuer nachgebracht werden. War das Gefäss B lange genug mit dem schmelzenden Schnee in Berührung, so dass man überzeugt sein kann, es habe wirklich die Temperatur von 0^0 angenommen, so wird, um das Ausfliessen des Quecksilbers zu verhindern, die Spitze der Röhre noch unter dem Quecksilber mit Wachs verstopft, das Gefäss B auf die Wage gebracht und das Gewicht des eingedrungenen Quecksilbers bestimmt (es versteht sich, dass man schon vorher das Gewicht des leeren Gefässes bestimmt hat).

Fig. 607.



Wir wollen mit p das absolute und mit d das specifische Gewicht des eingedrungenen Quecksilbers bezeichnen, so ist das Volumen desselben

$$v = \frac{p}{d}.$$

Dieses Quecksilber nimmt den Raum ein, um welchen sich die Luft, welche bei der Siedehitze das Gefäss ausfüllte, beim Erkalten bis auf 0^0 zusammenzog. Das Ende der Röhre wurde nun etwas umgebogen, die Spitze in ein Schälchen mit Quecksilber getaucht und durch sorgfältiges Auskochen alle Luft entfernt, so dass das Gefäss B beim Erkalten ganz mit Quecksilber gefüllt wurde. Nach dem Erkalten wurde es noch mit Schnee umgeben, so dass es sich mit Quecksilber von 0^0 füllen musste. Durch eine abermalige Wägung wird das Gewicht P des Quecksilbers bestimmt, welches bei 0^0 das ganze Gefäss ausfüllt. — Daraus ergiebt sich das Volumen des ganzen Glasgefässes sammt der Röhre bis zur Spitze bei 0^0

$$V = \frac{P}{d}.$$

Bei einer Temperatur von t^0, bei welcher die Spitze zugeschmolzen wurde, war aber das Volumen des ganzen Glasgefässes

$$V_t = \frac{P}{d}(1 + kt) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

wenn k den Ausdehnungscoëfficienten des Glases bezeichnet.

Die Luft, welche bei t^0 den Raum V_t ausfüllte, zieht sich also, auf 0^0 erkaltet, auf den Raum

$$v' = V - v = \frac{P - p}{d}$$

zusammen.

Bei der in Fig. 607 dargestellten Position des Glasgefässes B ist der Druck, unter welchem die in B enthaltene auf 0^0 erkaltete Luft steht, gleich $H' - h$, wenn H' den Barometerstand des Beobachtungsmomentes und h den Höhenunterschied der Quecksilberspiegel in B und C, Fig. 607, bezeichnet.

Wäre dieselbe Luftmasse bei 0^0 dem Druck H ausgesetzt gewesen, welcher gleich ist dem Barometerstand des Moments, in welchem die Spitze des Gefässes B zugeschmolzen wurde, so wäre ihr Volumen gewesen

$$v'' = v' \frac{H' - h}{H} = \frac{P - p}{d} \cdot \frac{H' - h}{H} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

Das Luftquantum, welches bei t^0 das Volum V_t einnahm, zieht sich also bei unverändertem Druck auf das Volumen v'' zusammen, wenn es auf 0^0 erkaltet wird. Bezeichnen wir mit α den Ausdehnungscoëfficienten der Luft (auf eine Temperaturerhöhung von 1^0 bezogen), so haben wir also

$$V_t = v'' (1 + \alpha t).$$

Substituirt man für V_t und v'' ihre Werthe bei (1) und (2), so ergiebt sich die Gleichung

$$P . H (1 + kt) = (P - p) (H' - h) (1 + \alpha t) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3)$$

nach welcher der Werth von α berechnet werden kann, wenn die übrigen Grössen durch das oben beschriebene Verfahren ermittelt worden sind.

Bei einem derartigen Versuche ergab sich $p = 41{,}722$ Gramm, $P = 173{,}443$ Grm.; ferner war $H = 76{,}36^{cm}$, die Temperatur t also $100{,}13^0$ C. (Siehe weiter unten den Paragraph über hypsometrische Thermometer) $H' = 77{,}58^{cm}$ und $h = 3{,}81^{cm}$. Danach ergiebt sich

$$\alpha = 0{,}003659,$$

wenn wir für den Ausdehnungscoëfficienten des Glases den Werth 0,000025 setzen.

Die bei dieser Berechnung zu Grunde gelegten Data sind den von Rudberg selbst angestellten Beobachtungen entnommen, und zwar sind es diejenigen, welche den grössten Werth für den Ausdehnungscoëfficienten der Luft geben. Der kleinste Werth, den er auf diese Weise gefunden hat, ist 0,3636 und das Mittel aus seinen Versuchen 0,3646. (Pogg. Annal. Bd. XLI.)

Die Wichtigkeit des Gegenstandes veranlasste Rudberg zur Ermittelung des Ausdehnungcoëfficienten eine zweite, auf ein anderes

Princip gegründete Versuchsreihe anzustellen; er bestimmte nämlich, wie viel die Spannkraft der Luft bei einer Temperaturerhöhung von 0⁰ bis 100⁰ zunimmt wenn ihr Volum unverändert bleibt. Nach dem Mariotte'schen Gesetz muss nämlich bei unverändertem Volumen die Spannkraft in gleichem Verhältniss zunehmen, in welchem die Luft bei gleicher Temperaturerhöhung sich ausgedehnt hätte, wenn der auf ihr lastende Druck ungeändert geblieben wäre.

Fig. 608.

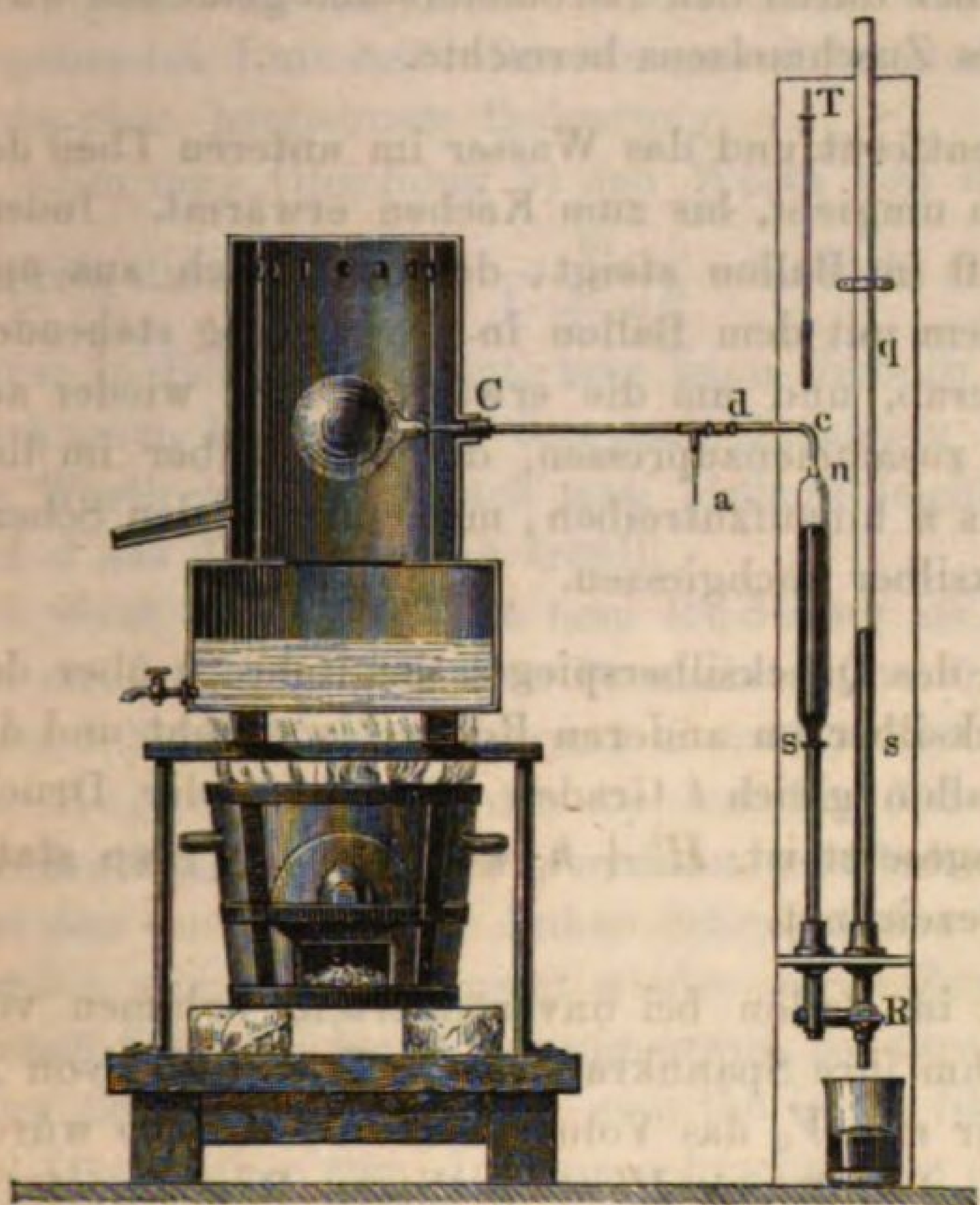


Fig. 608 stellt einen nach diesem Princip von Regnault construirten Apparat dar. Die Luft ist in einem Glasballon enthalten, und ist durch eine sehr enge Röhre *Ccn* mit dem aus zwei Röhren bestehenden Manometer *nRq* verbunden, welches bei *R* mit einem sogenannten Drei-Weghahn versehen ist. Das Glasrohr *Cc* besteht aus zwei Stücken, welche bei *d* durch ein Metallrohr verbunden sind, in welchem ein seitliches Röhrchen *a* eingesetzt ist.

Um den Ballon mit trockener Luft zu füllen, wird zunächst der Hahn *R* in die Stellung Fig. 609 gebracht, alsdann evacuirt man mittelst einer mit dem Röhrchen *a* in Verbindung gesetzten Luftpumpe und lässt durch ein Chlorcalciumrohr wieder Luft einströmen. Ist diese Operation mehrmals wiederholt und so der Ballon mit trockener Luft gefüllt worden, so wird Quecksilber in den offenen Schenkel *q* des Manometers eingegossen und der Hahn *R* so gestellt, Fig. 611, dass beide Röhren des Instrumentes in Verbindung stehen. Der Ballon wird nun mit schmelzendem Schnee umgeben und dadurch auf 0⁰ erkaltet und alsdann so viel Quecksilber in das Rohr *q* nachgegossen, dass es in dem Rohre links eben bis zum Merkzeichen *n* reicht, und sogleich das Röhrchen *a* vor dem Löthrohre zugeschmolzen. Das Quecksilber steht nun in beiden Schenkeln des Manometers

Fig. 609.



Fig. 610.

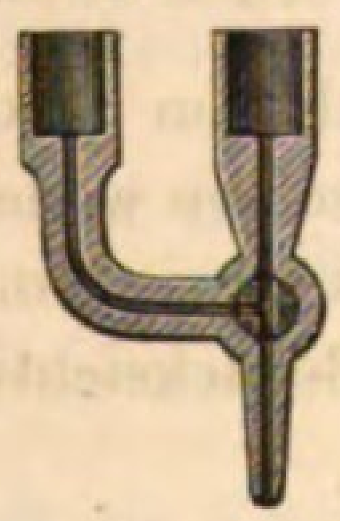
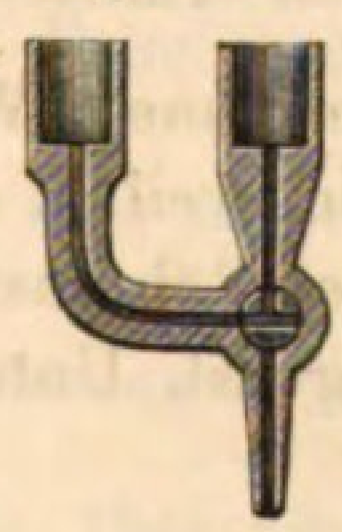


Fig. 611.



gleich hoch, weil der obere Theil von beiden bis zum Momente des Zuschmelzens mit der äusseren Luft in Verbindung stand. Die im Ballon jetzt abgesperrte bis auf 0^0 erkaltete Luft steht also gerade unter dem Druck der Atmosphäre, welcher durch den Barometerstand gemessen wird, welcher in dem Momente des Zuschmelzens herrschte.

Nun wird der Schnee entfernt und das Wasser im unteren Theil des Gefässes, welches den Ballon umgiebt, bis zum Kochen erwärmt. Indem nun die Temperatur der Luft im Ballon steigt, dehnt sie sich aus und drückt das Quecksilber in dem mit dem Ballon in Verbindung stehenden Schenkel des Manometers herab, und um die erwärmte Luft wieder auf ihr ursprüngliches Volumen zusammenzupressen, das Quecksilber im linken Schenkel also wieder bis n hinaufzutreiben, muss man in den Schenkel q mehr und mehr Quecksilber nachgiessen.

Es sei nun h die Höhe des Quecksilberspiegels im Rohre q über der Marke n, während das Quecksilber im anderen Rohre bis n steht und die Temperatur der Luft im Ballon gleich t Graden ist; so ist der Druck, welchem diese Luft nun ausgesetzt ist, $H' + h$, wenn H' den eben stattfindenden Barometerstand bezeichnet.

Während also die Luft im Ballon bei unverändertem Volumen von 0 bis t^0 erwärmt wurde, nahm ihre Spannkraft zu im Verhältniss von H zu $H' + h$. Bezeichnen wir mit V_0 das Volumen des Ballons, so würde die Luftmasse, welche unter dem Druck $H' + h$ diesen Raum ausfüllt, nach dem Mariotte'schen Gesetze bei unveränderter Temperatur t unter dem Druck H den Raum

$$V_t = V_0 \frac{H + h}{H}$$

einnehmen. Nun haben wir aber auch

$$V_t = V_0(1 + \alpha t),$$

oder

$$1 + \alpha t = \frac{H' + h}{H} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 4)$$

aus welcher Gleichung α berechnet werden kann, da die Werthe von t, H', H und h durch den Versuch ermittelt worden sind.

Der nach Gleichung 4) berechnete Werth von α kann aber nur ein angenäherter, kein genauer sein, weil in derselben weder die Ausdehnung des Ballons, noch der Inhalt des Röhrenstücks zwischen dem Dampfgefäss und der Marke n berücksichtigt ist. Unter Berücksichtigung dieser Grössen ergiebt sich die Gleichung

$$\left(V_0 + \frac{v}{1 + \alpha t'}\right) H = \left\{\frac{V_0(1 + kt)}{1 + \alpha t} + \frac{v}{1 + \alpha t'}\right\}(H' + h) \quad . \quad 5)$$

wenn V_0 das Volumen des Ballons und des Röhrenstücks, welches sich noch innerhalb des Dampfgefässes befindet, bei 0^0, v aber den (ohne merklichen Fehler als constant zu betrachtenden) Inhalt des Röhrenstücks vom Dampfgefäss bis zur Marke n bezeichnet, welches die Temperatur t' der umgebenden Luft hat. Die übrigen Grössen der Gleichung 5) haben die schon oben bezeichnete Bedeutung.

Um nach Gleichung 5) den Werth von α zu berechnen, ist zu bemerken, dass die Grösse $\frac{v}{1 + \alpha t'}$ sehr klein ist und nur als Correctionsgrösse in Betracht kommt; man kann deshalb in diesem Ausdruck ohne merklichen Fehler für α den nach Gleichung 4) berechneten angenäherten Werth setzen, wonach man alsdann leicht den Werth von $1 + \alpha t$ und α aus der Gleichung erhält.

Nach dieser Methode fand Rudberg als Mittel aus mehreren wenig von einander abweichenden Versuchen $\alpha = 0{,}0036457$, Regnault fand $\alpha = 0{,}0036645$ und Magnus $\alpha = 0{,}00366508$.

Regnault wandte den Apparat Fig. 608 auch noch in anderer Weise zur Bestimmung von α an; nachdem nämlich durch Erwärmung des Ballons das Quecksilber im linken Schenkel des Manometers herabgedrückt worden war, wird es nicht wieder durch Zugiessen von Quecksilber im offenen Schenkel bis n hinaufgepresst, sondern im Gegentheil durch Oeffnung des Hahnes R (indem man ihn in die Stellung Fig. 610 bringt) soviel Quecksilber zum Ausfluss gebracht, dass das Niveau in beiden Schenkeln gleich hoch, dass also die im Ballon abgesperrte Luft unter dem Drucke des jetzt herrschenden Barometerstandes H' steht.

Unter diesen Umständen hat sich also die abgesperrte Luft wirklich ausgedehnt, und wenn der linke Schenkel des Manometers calibrirt ist, so lässt sich die Zunahme v' des Volumens genau messen. Zur Berechnung von α haben wir alsdann die Gleichung

$$\left(V_0 + \frac{v}{1 + \alpha t'}\right) H = \left\{\frac{V_0 (1 + kt)}{1 + \alpha t} + \frac{v + v'}{1 + \alpha t'}\right\} H' \quad . \quad (6)$$

Eine Gleichung, welche sich von 5) nur dadurch unterscheidet, dass $h = 0$, und dass v auf der rechten Seite des Gleichheitszeichens in $v + v'$ übergegangen ist.

Nach diesem Verfahren fand Regnault $\alpha = 0{,}0036706$.

In Form eines gewöhnlichen Bruchs ausgedrückt, ist sehr nahe

$$\alpha = \frac{11}{3000} \text{ oder } \alpha = \frac{1}{273},$$

ein Werth, welcher in vielen Rechnungen bequem anzuwenden ist.

Regnault hat die Versuche über die Ausdehnung der Luft durch die Wärme auch bei einem Luftdrucke angestellt, welcher grösser und kleiner war als der Druck der Atmosphäre, und fand, dass der Ausdeh-

nungscoëfficient mit wachsendem Drucke grösser wird; er wächst von 0,3648 bis 0,3709, wenn der Druck von 110 Mm. bis 3653 Mm. steigt.

Ebenso fanden Magnus und Regnault durch die genauesten Versuche, dass auch für verschiedene Gase der Ausdehnungscoëfficient nicht ganz gleich ist; es fanden für

	Regnault	Magnus
Wasserstoffgas . .	0,36613 . .	0,36556
Kohlenoxydgas . .	0,36688	
Kohlensäure . . .	0,37099 . .	0,36909
Stickstoffoxydulgas .	0,37195	
Cyangas	0,38767	
Schweflige Säure .	0,39028 . .	0,38562.

Die Versuche beider Physiker thun dar, dass der Ausdehnungscoëfficient derjenigen Gase, welche zu Flüssigkeiten comprimirbar sind, grösser ist als der der Luft, und zwar um so grösser, je leichter sie flüssig werden.

Somit weisen die Versuche nach, dass die früher als allgemein wahr angenommenen Sätze, dass der Ausdehnungscoëfficient für alle Gase und unter jedem Drucke gleich sei, nicht ganz streng wahr ist. Deshalb aber müssen die Gesetze, wie Regnault sehr richtig bemerkt, nicht aus der Wissenschaft verbannt werden; sie gelten für einen vollkommenen Gaszustand, dem sich die Gase, welche uns die Natur liefert, bald mehr bald weniger nähern, je nachdem sie bei der Temperatur und dem Drucke, welchem sie ausgesetzt sind, dem Punkte des Ueberganges in einen anderen Aggregatzustand näher oder ferner liegen.

212 **Luftthermometer.** Ist einmal der Ausdehnungscoëfficient der Luft bekannt, so kann man jeden der Apparate, welchen man zur Ermittelung des Werthes von α in Anwendung gebracht hat, auch zu Temperaturmessungen gebrauchen. Dieselben Gleichungen, welche zur Berechnung von α dienten, wenn t bekannt war, können nun auch dienen, um t zu berechnen, wenn α bekannt ist.

Dulong und Petit brachten zwei verschiedene Luftthermometer in Anwendung. Das eine derselben ist in dem Apparat Fig. 589 Seite 642 abgebildet. Es ist dies ein mit trockener Luft gefülltes cylinderförmiges Glasgefäss, welches fast die ganze Höhe des Oelbades einnimmt. Das cylindrische Glasgefäss verlängert sich zu einer umgebogenen graduirten Röhre GS, deren Oeffnung frei bleibt, so lange die Temperatur des Oelbades steigt.

Die in dem Gefässe befindliche erwärmte Luft steht also unter dem Druck H der Atmosphäre. Sobald die Temperatur des Oelbades stationär geworden ist, wird das bis dahin freie Ende der Röhre GS durch Eintauchen in Quecksilber geschlossen und mit dem Sinken der Temperatur steigt das Quecksilber in GS zu einer Höhe h, welche gemessen wird,

wenn die im Gefäss abgesperrte Luft bis zu einer bestimmten Temperatur t^0 gesunken ist. Hat sich der Barometerstand geändert, ist er H' geworden, so ist nun die abgesperrte, auf t^0 erkaltete Luft einem Druck $H' - h$ ausgesetzt. Aus diesen Daten lässt sich dann die Temperatur t berechnen, welche die Luft im Gefässe in dem Augenblicke hatte, in welchem die Spitze S der Röhre GS unter Quecksilber getaucht wurde.

Der zweite Apparat, welchen Dulong und Petit als Luftthermometer benutzten, stimmt im Wesentlichen mit dem in Fig. 606 und Fig. 607 S. 662 u. 663 abgebildeten überein. Ein calibrirtes, mit trockener Luft gefülltes Glasgefäss, welches mit einer engen zu einer Spitze ausgezogenen Röhre versehen war, wurde in den Raum gebracht, dessen Temperatur t bestimmt werden sollte. Nachdem das Glasgefäss lange genug jener Temperatur ausgesetzt gewesen war, wurde die Spitze vor dem Löthrohr zugeschmolzen und alle die auf Seite 663 beschriebenen Operationen vorgenommen. Man erhält durch diese Versuche die Zahlenwerthe der Grössen P, p, H, H' und h der Gleichung 3) auf Seite 664 und kann aus derselben t berechnen, da α und k bekannt sind.

Ganz vorzüglich ist auch der Regnault'sche Apparat, Fig. 608, zum Luftthermometer geeignet, mag man ihn nun nach der einen oder der anderen der beiden in §. 211 besprochenen Methoden gebrauchen. Pouillet hatte schon früher ein im Wesentlichen mit diesem übereinstimmendes Luftthermometer construirt, dessen Gefäss aus einer hohlen Platinkugel bestand, so dass er es mit Erfolg auch zur Bestimmung hoher Temperaturen benutzen könnte, weshalb er ihm auch den Namen eines Luftpyrometers beilegte.

Während man an einem Quecksilberthermometer die Temperatur einfach ablesen kann, erfordert die Bestimmung der Temperatur mit Hülfe des Luftthermometers immer einen mehr oder minder umständlichen Versuch.

Wenn man dieselbe Temperatur gleichzeitig mit dem Quecksilberthermometer und dem Luftthermometer misst, so erhält man zwischen 0^0 und 100^0 vollkommen gleiche Angaben; über 100^0 hinaus aber giebt das Quecksilberthermometer stets höhere Temperaturen an. Es folgt daraus, dass sich das Quecksilber von 0^0 bis 100^0 gleichförmig, von 100^0 an aber in einem stärkeren Verhältnisse ausdehnt.

Nach den Versuchen von Dulong und Petit sind folgende mit dem Luft- und dem Quecksilberthermometer gemessenen Temperaturen identisch.

Luftthermometer . . .	100	197	293,
Quecksilberthermometer .	100	200	300,

Nach Rudberg sind folgende die entsprechenden Temperaturen beider Thermometer:

Luftthermometer . . .	100	198,8	294,7
Quecksilberthermometer .	100	200	300.

Nach Magnus:

Luftthermometer . . .	100	197,5	294,5
Quecksilberthermometer .	100	200	300.

Nach den schon oben angeführten Versuchen von Regnault gelten die für ein Quecksilberthermometer erhaltenen Resultate nicht für jedes andere, weil sie aufhören, bei höheren Temperaturen vergleichbar zu sein, wenn sie aus verschiedenen Glassorten gemacht sind. Bei genauen Versuchen sollte man deshalb die Bestimmung höherer Temperaturen stets mit dem Luftthermometer machen, da bei dessen Angaben, wegen der Grösse der Ausdehnung der Luft, die Fehler verschwinden, welche durch die Unregelmässigkeiten in der Ausdehnung der Glashülle veranlasst werden.

Der Gang eines Weingeistthermometers und noch mehr der eines Wasserthermometers weicht von dem des Quecksilberthermometers ab, und die Angaben dieses stimmen für höhere Temperaturen auch wieder nicht mit denen des Luftthermometers überein. Es ist also die Frage, welche thermometrische Substanz zu genauen Temperaturmessungen anzuwenden ist?

Vom theoretischen Standpunkte muss man sich für diejenige Substanz entscheiden, deren Ausdehnung stets der absorbirten Wärmemenge proportional ist. Dies ist aber, wie wir später in dem Capitel über die specifische Wärme sehen werden, für keinen festen und für keinen tropfbar flüssigen Körper der Fall, die Angaben der aus ihnen construirten Thermometer können deshalb auch nie ein genaues Maass für die absorbirten Wärmemengen sein.

Da sich nun alle Gase unter verschiedenem Druck stets (wenigstens sehr nahe) gleich stark ausdehnen, so liegt der Schluss nahe, dass ihre Ausdehnung lediglich durch die expandirende Wirkung der Wärme bedingt und dass für sie die anziehende Kraft der Moleküle gleich Null sei. In diesem Fall aber ist die Proportionalität zwischen der Ausdehnung der Gase und der absorbirten Wärmemenge höchst wahrscheinlich, und da man auch die Temperatur der Körper der von ihnen absorbirten Wärmemenge proportional wachsend denken muss, so kann man also auch nur von dem Luftthermometer vollkommen richtige Temperaturangaben erwarten.

213 **Reduction der Gasvolumina.** Das Volumen eines gegebenen Gasquantums ist abhängig

1. von dem Druck, welchem es ausgesetzt ist nach dem Mariotte'schen Gesetz und

2. von der Temperatur nach dem **Gay-Lussac'schen Gesetz** (so genannt, weil Gay-Lussac zuerst den Versuch gemacht hat, den Ausdehnungscoëfficienten der Luft mit Genauigkeit zu bestimmen).

Um das Mariotte'sche und Gay-Lussac'sche Gesetz in einer Formel zusammenzufassen, wollen wir das Volumen einer Gasmasse bei 0° C. und einem Druck von 760 Mm. mit V_{no}, das Volumen derselben Gasmasse bei t^0 und einem Druck b mit V_{bt} bezeichnen. Man hat alsdann

$$V_{bt} = V_{no} \frac{760}{b} (1 + \alpha t). \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

und daraus

$$V_{no} = V_{bt} \frac{b}{760 (1 + \alpha t)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

wo für α der Zahlenwerth 0,00365 oder $\frac{1}{273}$ zu setzen ist.

Die durch Gleichung 1) oder durch Gleichung 2) ausgesprochene Beziehung wird mit dem Namen des **Mariotte-Gay-Lussac'schen Gesetzes** bezeichnet.

Die Berechnung von V_{no} nach Gleichung (2), wenn V_{bt} gegeben ist, wird auch die **Reduction des Gasvolumens auf die Normaltemperatur und den Normaldruck** oder kurz die **Reduction auf den Normalzustand** genannt.

Bezeichnen wir mit S_{no} das specifische Gewicht einer gegebenen Gasmasse bei 0° C. und einem Druck von 760 Mm., mit S_{bt} das specifische Gewicht derselben Gasmasse bei t^0 und unter dem Druck b, so haben wir

$$S_{no} = \frac{P}{V_{no}}$$

und

$$S_{bt} = \frac{P}{V_{bt}},$$

wenn P das absolute Gewicht der Gasmasse bezeichnet. Wir haben also

$$\frac{S_{no}}{S_{bt}} = \frac{V_{bt}}{V_{no}} = \frac{760}{b} (1 + \alpha t)$$

und

$$S_{no} = S_{bt} \frac{760}{b} (1 + \alpha t) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3)$$

Eine Gleichung, nach welcher man das specifische Gewicht eines Gases im Normalzustand berechnen kann, wenn es für die Temperatur t^0 und den Druck b bekannt ist.

Für irgend ein anderes Gas würde man haben

$$S'_{no} = S'_{bt} \frac{760}{b} (1 + \alpha t) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

und wenn Gleichung 3) durch Gleichung 4) dividirt

$$\frac{S_{no}}{S'_{no}} = \frac{S_{bt}}{S'_{bt}}.$$

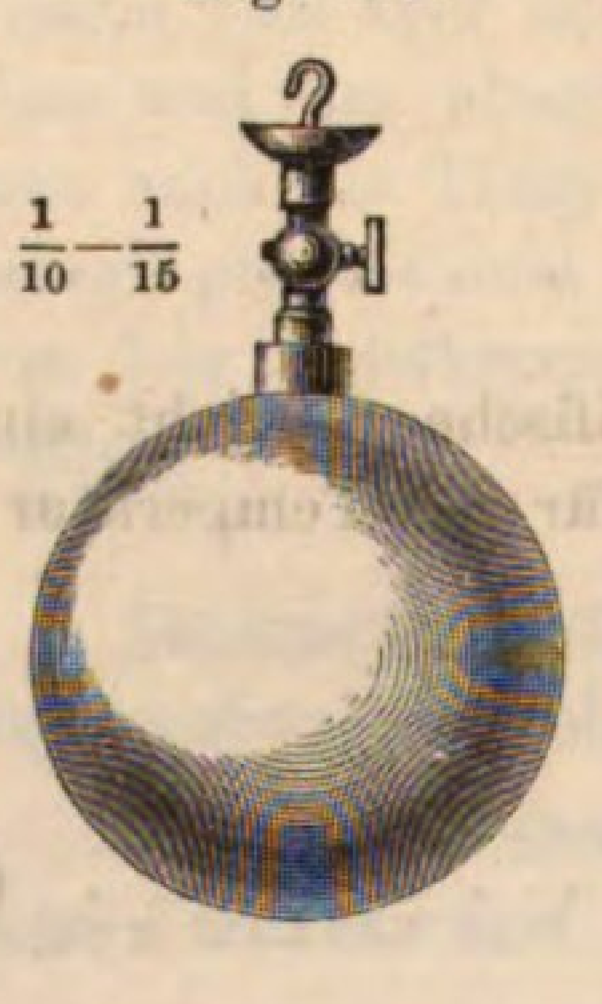
Aus dieser Gleichung folgt, dass die specifischen Gewichte zweier verschiedenen Gase stets in demselben Verhältnisse zu einander stehen, so lange beide gleiche Temperatur haben und gleichem Drucke ausgesetzt sind. Bei der Temperatur der Rothglühhitze also, wie bei der Temperatur von 0° C., unter dem Drucke von 10 Atmosphären, wie unter dem einer einzigen, wird das specifische Gewicht des Wasserstoffs z. B. immer 0,0688, also ungefähr $^1/_{15}$ von dem specifischen Gewicht der unter gleichen Verhältnissen sich befindenden atmosphärischen Luft sein. **Es bleibt dies so lange wahr, als beide Gase dem Mariotte'schen Gesetze folgen und der Coëfficient α für beide denselben Werth hat.**

214 **Bestimmung des specifischen Gewichts der Gase.** Bei dem, was früher über das specifische Gewicht der Körper gesagt wurde, war der Einfluss der Wärme ganz ausser Acht gelassen worden. Bei festen und flüssigen Körpern ist auch in der That die Ausdehnung innerhalb der Temperaturgrenzen, zwischen welchen man die zur Bestimmung des specifischen Gewichts nöthigen Operationen vornimmt, so gering, dass man, wo nicht die grösste Genauigkeit nöthig ist, den Wärmeeinfluss ganz vernachlässigen kann.

Auf das specifische Gewicht der Gase aber hat die Wärme einen so bedeutenden Einfluss, dass man ohne ihre Berücksichtigung nicht einmal angenähert richtige Resultate erhält. Aus diesem Grunde kann erst hier von der Bestimmung der Dichtigkeit der Gase die Rede sein.

Um das specifische Gewicht der Luft zu bestimmen, wendet man einen Ballon von 8 bis 10 Liter Inhalt an, welcher mit einer Fassung versehen ist, die man auf eine Luftpumpe schrauben, und in welcher sich ein Hahn befindet, den man schliessen kann, wenn man evacuirt hat (Fig. 612). Die Capacität eines solchen Ballons findet man am besten dadurch, dass man genau das Gewicht des Wassers ausmittelt, welches er fasst.

Fig. 612.



Ist das Volumen V ermittelt, so wird er mit trockenem Gase gefüllt und gewogen. Es sei P das Gewicht des Ballons, wenn er bei t^0 und bei dem Barometerstand b mit trockenem Gase gefüllt ist.

Nun wird der Ballon evacuirt und nachdem die Spannkraft h des noch im Ballon zurückgebliebenen Gases bestimmt worden ist, abermals gewogen. Es sei P' das Gewicht des Ballons bei dieser zweiten Wägung, so ist

$$p = P - P'$$

das Gewicht des ausgepumpten Gases, und also ist

$$p' = p \frac{b}{b - h}$$

das Gewicht der gesammten Gasmasse, welche bei t^0 und unter dem Druck b den Ballon füllt. Den Formeln des vorigen Paragraphen zufolge ist demnach das specifische Gewicht des fraglichen Gases im Normalzustand

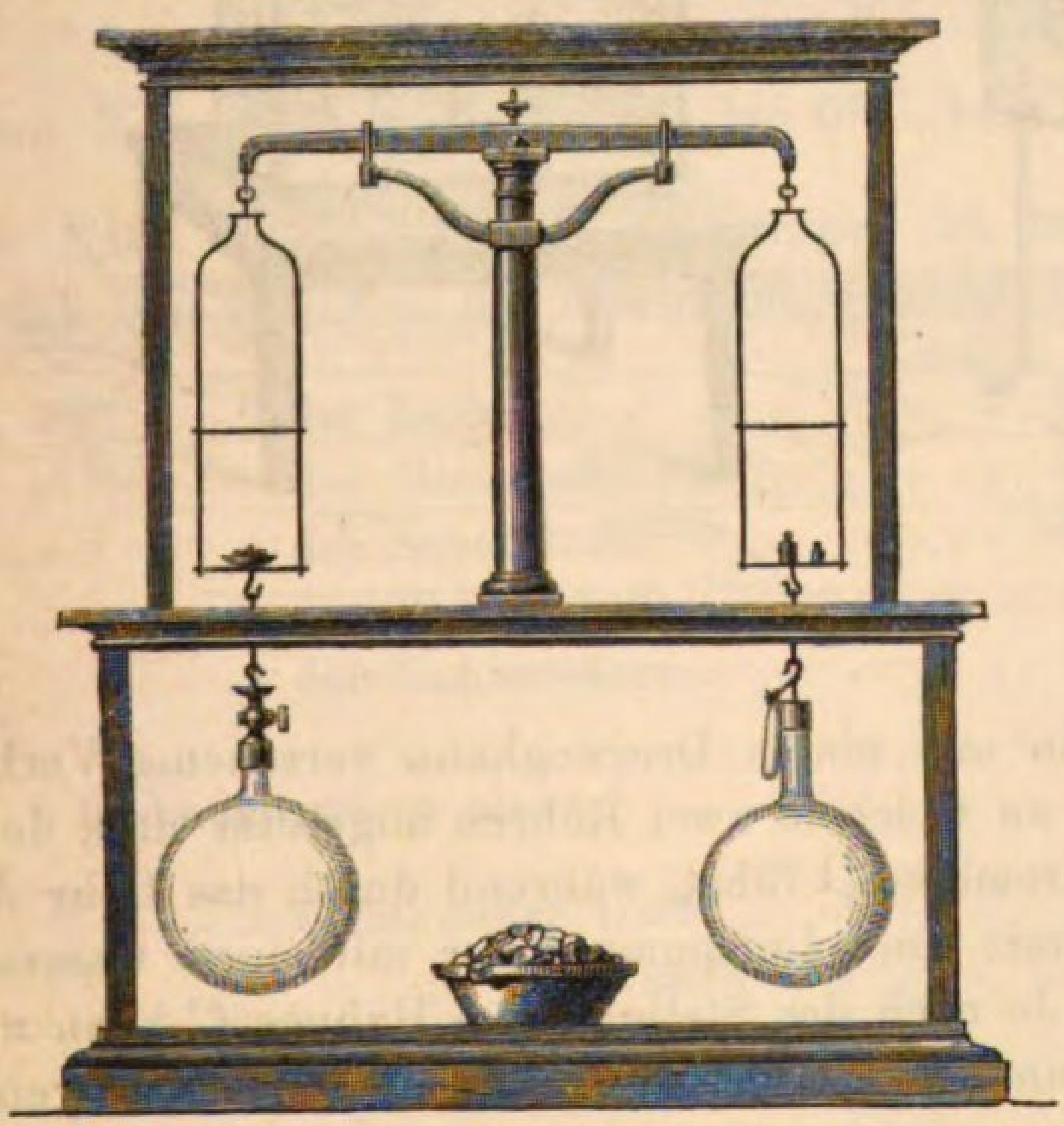
$$S_{no} = \frac{p}{V} \frac{760}{b - h} (1 + \alpha t).$$

Die nach dieser Formel berechneten Werthe sind aber durchaus nicht genau. Um genaue Werthe für das specifische Gewicht der Gase zu erhalten, müssen noch verschiedene Correctionen angebracht werden, namentlich wegen der Glasausdehnung, wegen des Gewichtsverlustes, welchen jeder von atmosphärischer Luft umgebene Körper erleidet u. s. w.

Um diese mühsamen und doch immer noch Unsicherheiten mit sich führenden Correctionen zu vermeiden, hat Regnault die Beobachtungsmethode selbst verbessert.

Er nimmt zwei Glasballons von 8 bis 10 Liter Inhalt, welche aus derselben Fabrik stammen, aus demselben Hafen geblasen und so nahe als möglich gleich gross sind. Auf den Hals des grösseren Ballons wird eine Fassung mit Hahn und Haken, auf den Hals des kleineren wird eine Fassung aufgeschraubt, welche nur mit einem Haken versehen zu sein braucht. Beide Ballons werden mit Wasser gefüllt an den Schalen einer starken Wage, Fig. 613, aufgehängt und die Wage mit Hülfe einer Tara ins Gleichgewicht gebracht. Werden nun beide Ballons in ein mit Wasser gefülltes Gefäss eingetaucht, so wird das Gleichgewicht gestört, man muss auf der Seite des grösseren Ballons n Grm. auflegen, um das Gleichgewicht wieder herzustellen.

Fig. 613.

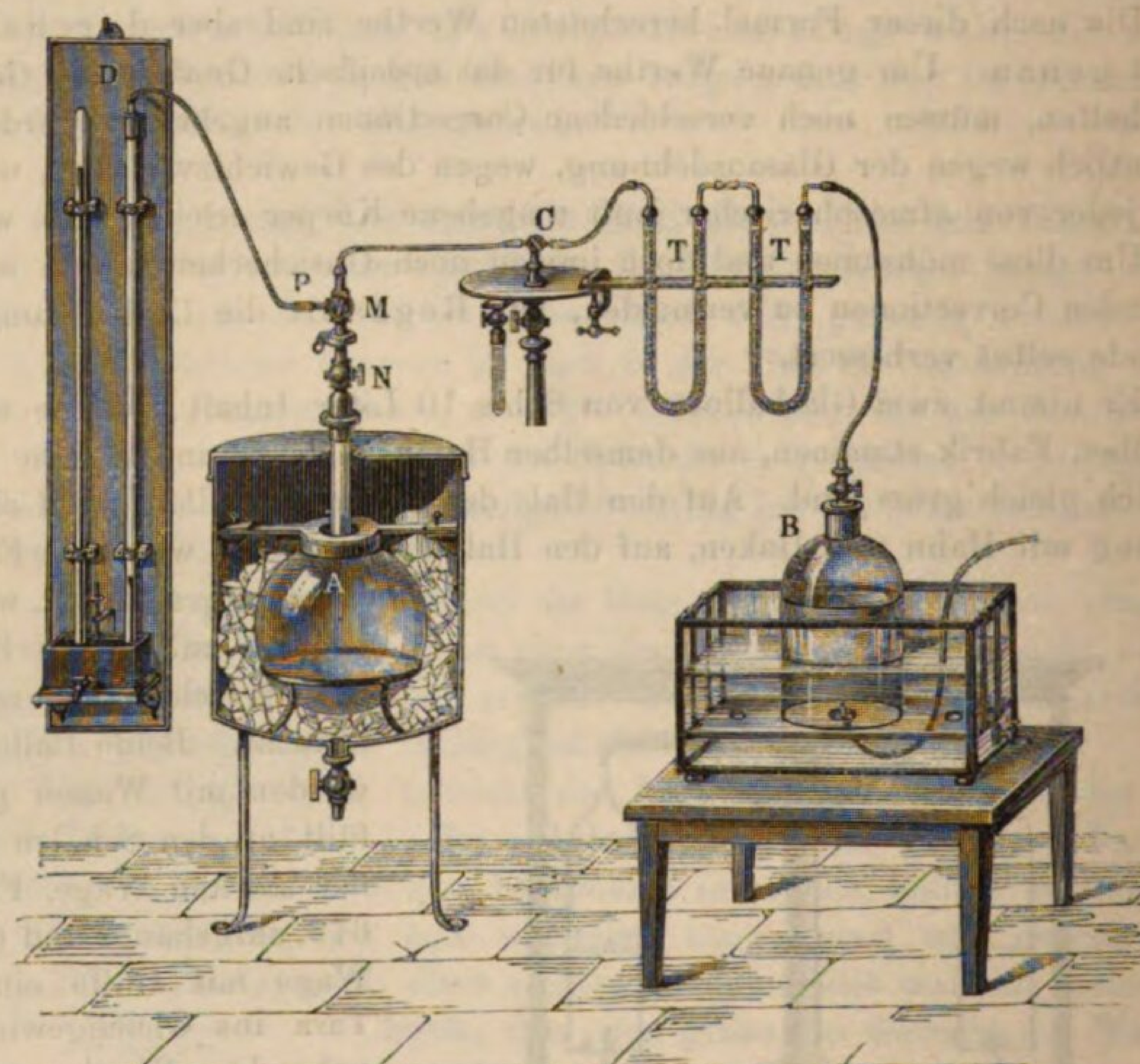


Regnault stellte nun eine geschlossene Glasröhre her, welche in Wasser eingetaucht gerade n Gramme an Gewicht verliert, und hing diese

Röhre am kleineren Ballon an, wie Fig. 613 zeigt. — Durch dieses Anhängen ist nun das äussere Volumen beider Ballons gleich gemacht, der Gewichtsverlust ist für beide derselbe, mögen sie nun in Wasser oder in Luft schweben. Auf diese Weise ist also eine Reduction der Wägung auf den leeren Raum nicht mehr nöthig.

Nach Herstellung der Anhängeröhre wird das Wasser der beiden Ballons wieder entfernt und der grössere derselben bei 0° C. mit dem wohlgetrockneten Gas gefüllt, dessen specifisches Gewicht bestimmt werden soll. Es geschieht dies auf folgende Weise: Der Ballon *A* wird in einem passenden Zinkgefäss, Fig. 614, mit Eis umgeben, und auf die Messing-

Fig. 614.



fassung desselben wird ein mit einem Dreiweghahn versehenes Verbindungsstück aufgeschraubt, an welchem zwei Röhren angesetzt sind, deren eine *P* zum Differentialbarometer *D* führt, während durch das Rohr *MC* entweder die Verbindung mit einer Luftpumpe oder mit einem Gasreservoir *B* hergestellt wird. Je nach der Stellung des Hahnes *C* kann man den Ballon *A* evacuiren und dann aus *B* durch die Trockenröhren *T* Gas aus *B* eintreten lassen.

Hat man nach mehrmaliger Wiederholung dieser Operationen zum letztenmale evacuirt, so wird der Hahn *M* so gestellt, dass die Verbin-

dung mit der Luftpumpe unterbrochen wird, während A mit dem Manometer verbunden bleibt, an welchem nun mittelst eines Kathetometers die Höhendifferenz h der Quecksilberniveaus im Barometer und im Manometerrohre abgelesen wird. Nach dieser Ablesung wird der Hahn N geschlossen und dadurch das Gasvolum V von der Temperatur 0 und dem Drucke h abgesperrt. Darauf wird das Zwischenstück abgeschraubt, der Ballon aus dem Eisgefäss genommen und abgetrocknet an die eine Schale der Wage angehängt; während an der anderen Schale der kleinere Ballon mit dem Röhrchen hängt und das Gleichgewicht der Wage durch Taragewicht hergestellt wird.

Nach Vollendung dieser Operation wird der Ballon A wieder in das Eisgefäss zurückgebracht und der Hahn N geöffnet. Das Gas dringt durch die Trockenröhren in den Ballon ein und füllt ihn unter dem Druck der Atmosphäre, den wir mit H bezeichnen wollen. Es ist also jetzt eine Gasmenge vom Volumen V, der Temperatur 0 und dem Druck $H - h$ eingeströmt. Eine abermalige Wägung lehrt das Gewicht P dieser Gasmasse kennen.

Auf den Normaldruck reducirt, würde das Gewicht dieser Gasmenge sein

$$p = P \frac{760}{H - h}.$$

Das specifische Gewicht des Gases im Normalzustand (das specifische Gewicht des Wassers zur Einheit genommen) ist alsdann

$$S = \frac{p}{V},$$

wenn V den Inhalt des Ballons bei 0° C. bezeichnet.

Nach Regnault's Bestimmungen ist bei 0° C. und unter einem Druck von 760 Mm. das specifische Gewicht:

der Luft	0,001293187
des Stickstoffs	0,001256157
des Sauerstoffs	0,001429802
des Wasserstoffs	0,000089578
der Kohlensäure	0,001977414

Demnach wiegt also

1	Cubikmeter Luft	1293	Gramm
1	„ Wasserstoff . . .	89,6	„
1	„ Kohlensäure . . .	1977	„

Das specifische Gewicht der atmosphärischen Luft zur Einheit genommen, ist folgendes das specifische Gewicht einiger Gase:

	Biot und Arago.	Dulong und Berzelius.	Regnault.
Sauerstoff	1,10359	1,1026	1,10563
Stickstoff	0,96913	0,976	0,97137
Wasserstoff	0,07321	0,0687	0,06926
Kohlensäure	0,51961	0,5245	1,52901

Zweites Capitel.

Veränderung des Aggregatzustandes.

Schmelzen. Die meisten festen Körper werden durch gesteigerte Temperatur geschmolzen, d. h. aus dem festen in den flüssigen Zustand übergeführt. Einige Substanzen sind leicht schmelzbar und gehen schon bei niedrigen Temperaturen in den flüssigen Zustand über, z. B. Eis, Phosphor, Schwefel, Wachs, Fett u. s. w.; andere bedürfen zum Schmelzen schon höherer Temperaturen, wie Zinn, Blei u. s. w.; endlich giebt es Körper, welche erst bei sehr hohen Temperaturen schmelzen, wie Gold, Eisen, Platin. Die Kohle zu schmelzen ist bis jetzt noch nicht gelungen, wenngleich mehrere Physiker behaupten, an den Kanten von Diamanten, die sie dem Versuche unterworfen hatten, Spuren von Schmelzung bemerkt zu haben. 215

Es ist wahrscheinlich, dass bei hinlänglich gesteigerter Temperatur alle Körper zum Schmelzen gebracht werden könnten, vorausgesetzt, dass sie nicht schon vorher durch die Hitze chemisch zerlegt werden, wie dies z. B. bei vielen organischen Körpern der Fall ist.

Wenn ein Körper aus dem festen in den flüssigen Zustand übergeht, beobachtet man zwei merkwürdige Phänomene. Erstens findet der Uebergang aus dem festen in den flüssigen Zustand für jede Substanz stets bei derselben Temperatur statt, d. h. jede Substanz hat einen bestimmten Schmelzpunkt; und zweitens ändert sich während des Schmelzens die Temperatur nicht, wie viel Wärme auch in den Körper eindringen mag. Es wird also beim Schmelzen Wärme absorbirt, welche sich gleichsam im Körper versteckt, ohne auf das Gefühl oder das Thermometer weiter zu wirken.

Die Tabelle auf umstehender Seite enthält die Schmelzpunkte verschiedener Substanzen:

Gehämmertes englisches Eisen	1600 Grad C.
Weiches französisches Eisen	1500 „
Der strengflüssigste Stahl	1400 „
Der leichtflüssigste Stahl	1300 „
Graues Gusseisen, zweite Schmelzung . .	1200 „
Leichtflüssiges weisses Gusseisen. . . .	1050 „
Gold	1250 „
Silber	1000 „
Bronze	900 „
Antimon	432 „
Zink	360 „
Blei	334 „
Cadmium	321 „
Wismuth	256 „
Zinn	230 „
Legirung aus 5 Theilen Zinn, 1 Blei . .	194 „
Schwefel.	109 „
Legirung aus 8 Wismuth, 5 Blei, 3 Zinn	100 „
Legirung aus 4 Wismuth, 1 Blei, 1 Zinn	94 „
Legirung aus 1 Cadmium, 1 Zinn, 2 Blei und 4 Wismuth. .	70 „
Natrium	90 „
Kalium	58 „
Phosphor	43 „
Stearinsäure	70 „
Weisses Wachs	68 „
Gelbes Wachs	61 „
Stearin	49 bis 43 Grad
Wallrath	49 Grad
Essigsäure	45 „
Seife	33 „
Eis	0 „
Terpentinöl.	— 10 „
Quecksilber.	— 40 „
Schweflige Säure	— 76 „
Stickoxydul	— 115 „

Eine aufmerksame Beobachtung dieser Tabelle zeigt die merkwürdige Thatsache, dass der Schmelzpunkt von Legirungen meist tiefer liegt als der Schmelzpunkt der einzelnen Metalle, aus welchen sie bestehen. So schmilzt eine Legirung von 5 Theilen Zinn und 1 Theil Blei schon bei 194°, während der Schmelzpunkt des Bleies 334°, der des Zinns 230° beträgt. Sehr auffallend zeigt sich diese Erscheinung beim R o s e ' s c h e n M e t a l l, einer Legirung, welche aus 4 Gewichtstheilen Wismuth, 1 Gewichtstheil Blei und 1 Gewichtstheil Zinn besteht; der Schmelzpunkt des-

selben liegt bei 94° C., also noch unter dem Siedepunkte des Wassers und noch weit unter dem Schmelzpunkte des leichtflüssigsten der drei Bestandtheile.

Eine noch leichtere schmelzbare Legirung ist die von Wood angegebene, gleichfalls in der obigen Tabelle enthaltene, welche Cadmium enthält und welche schon bei 70° C. schmilzt.

In der Technik wird von den leichtflüssigen Legirungen vielfach Gebrauch gemacht; so ist z. B. das Schnellloth, mit welchem die Blechner das Weissblech löthen, eine Legirung von 2 Theilen Blei und 1 Theil Zinn.

Rudberg hat interessante Beobachtungen über das Festwerden geschmolzener Legirungen von Blei und Zinn, Zinn und Wismuth, Zinn und Zink, Zink und Wismuth gemacht. Werden z. B. Zinn und Blei in irgend einem Verhältniss zusammengeschmolzen, ein Thermometer hineingesenkt und die Erkaltungszeit mit dem Sinken des Thermometers verglichen, so findet man, dass das Thermometer auf einem gewissen Punkte stationär bleibt, ohne dass noch das Metall sichtbar zu erstarren anfängt, dass es darauf weiter sinkt und zum zweiten Male stationär bleibt, wenn die ganze Masse erstarrt. Rudberg fand, dass dieser letztere Punkt auf denselben Thermometergrad fällt, in welchem Verhältniss die Metalle auch gemischt sind, dass aber der andere variirt und bei dem Zusatze des schon vorherrschenden Metalls höher wird, und umgekehrt. Daher nennt er den einen Punkt den beständigen, den anderen den veränderlichen.

Den Erstarrungspunkt des Zinns fand Rudberg bei 228°, den des Bleies bei 325°. Der beständige Punkt, wobei eine Legirung beider erstarrt, ist 187°; allein für eine Legirung von 3 Aeq. Blei und 1 Aeq. Zinn ist der erste am Thermometer stationäre, also der veränderliche Punkt 280°. Je mehr Zinn man nun der Legirung zusetzt, desto tiefer sinkt der veränderliche Punkt, er ist 200° für eine Mischung von 1 Aeq. Blei und 2 Aeq. Zinn. Bei einer Legirung von 1 Aeq. Blei und 3 Aeq. Zinn fehlt der veränderliche Punkt ganz, und es findet sich nur der feste Erstarrungspunkt von 187°. Wenn man nun noch mehr Zinn zusetzt, so steigt der veränderliche Punkt wieder.

Aehnliche Erscheinungen beobachtete Rudberg bei den übrigen der erwähnten Legirungen.

Binden der Wärme beim Uebergange aus dem festen in den flüssigen Zustand. 216 Im Jahre 1763 hat Black die jede Schmelzung begleitende Wärmeabsorption und damit eine der wichtigsten Fundamentalwahrheiten der Wärmelehre nachgewiesen. Von diesem Binden der Wärme beim Schmelzen überzeugt man sich, wenn man 1 Pfund Schnee von 0° und 1 Pfd. Wasser von 79° mit einander mischt. Der Schnee schmilzt und man erhält 2 Pfd. Wasser von 0°. Alle Wärme also, welche das heisse Wasser bei seiner Erkal-

tung von 79⁰ bis auf 0⁰ abgegeben hat, ist für das Thermometer spurlos verschwunden, sie ist lediglich dazu verwendet worden, um Schnee von 0⁰ in Wasser von 0⁰ zu verwandeln.

Diese bei jeder Schmelzung für das Gefühl und das Thermometer verschwindende Wärme nennt man Schmelzungswärme, gebundene oder latente Wärme.

Damit der obige Versuch ein richtiges Resultat liefere, muss er mit einiger Vorsicht angestellt werden; vor allen Dingen muss die Mischung rasch vor sich gehen, und man muss sie an einem Orte vornehmen, an welchem die Temperatur der Luft 0⁰ oder doch nur wenig von 0⁰ verschieden ist, damit man sicher sein kann, dass nicht Wärme aus der Umgebung eindringt und einen Theil des Schnees schmilzt, oder dass nicht umgekehrt ein Theil der Wärme des Wassers an die kältere Umgebung abgegeben wird. Mit dicken Eisstücken gelingt der Versuch nicht, weil sie dem warmen Wasser nicht Berührungspunkte genug bieten, und weil deshalb die Schmelzung des Eises zu langsam vor sich geht, also jedenfalls ein Theil der Wärme des Wassers an die Umgebung verloren wird.

Um überhaupt verschiedene Wärmemengen zu vergleichen, muss man irgend eine bestimmte Wärmemenge zur Einheit wählen. Die Physiker sind nun übereingekommen, als Wärmeeinheit (Calorie) diejenige Wärmemenge anzunehmen, welche nöthig ist, um die Temperatur der Gewichtseinheit Wasser um 1⁰ C. zu erhöhen.

Von dieser Definition ausgehend, können wir also sagen, dass obigem Versuch zu Folge zur Schmelzung von 1 Gewichtseinheit Schnee 79 Wärmeeinheiten (Calorien) consumirt werden; oder mit anderen Worten: die Schmelzungswärme des Eises oder des Schnees, also die gebundene oder latente Wärme des Wassers, ist 79.

Nach neueren mit grösster Genauigkeit angestellten Versuchen, welche de la Provostaye und Desains über die Schmelzungswärme des Eises angestellt haben, ist 79,25 für die früher nach den calorimetrischen Versuchen von Lavoisier und Laplace angenommene Zahl 75 zu setzen.

Regnault bestätigte die Resultate von Provostaye und Desains. Die von ihm angewandte Methode war im Wesentlichen folgende: In einem Raume, dessen Temperatur nicht weit von 0⁰ entfernt war, wurde ein Drahtkörbchen mit Schnee in eine gewogene Menge Wasser von gemessener Temperatur eingetaucht und so lange hin und her bewegt, bis aller Schnee geschmolzen war. Aus der Temperaturerniedrigung, welche dadurch in dem Wasser bewirkt wird, lässt sich dann auf die zum Schmelzen des Schnees verwendete Wärme schliessen.

Das Quantum des verwendeten Schnees wurde dadurch bestimmt, dass nach vollendeter Schmelzung desselben eine zweite Wägung des Wassergefässes vorgenommen wurde.

Bei einem derartigen Versuche wurden z. B. 50,5 Gramme Schnee von — 0,32° C. in 462,2 Grm. Wasser von 16,12° eingetaucht. Nach $1^1/_2$ Minuten war die Schmelzung vollendet und die Temperatur des Wassers auf 6,78° herabgekommen, also um 9,34° C. erniedrigt.

Bezeichnen wir mit 1 die Wärmemenge, welche nöthig ist, um die Temperatur von 1 Gramm Wasser um 1° C. zu erhöhen, so ist die vom Wasser abgegebene Wärmemenge 462,2 . 9,34 = 4317.

Diese Wärme wurde verwendet, um die 50,5 Gramme Schnee zu schmelzen und die Temperatur dieser Masse von — 0,32 auf 6,78°, also um 7,1° zu erhöhen.

Da zu dieser Temperaturerhöhung die Wärmemenge 50,5 × 7,1 = 358 verbraucht wird, so wurde also zur Schmelzung des Schnees die Wärmemenge 4317 — 358 = 3959 verwendet.

Bezeichnen wir mit x die Wärmemenge, welche bei der Schmelzung von 1 Gramm Schnee verbraucht wird, so haben wir

$$50{,}5\,x = 3959,$$

also

$$x = \frac{3959}{50{,}5} = 78{,}5.$$

Mit Berücksichtigung verschiedener Correctionen, von denen hier nicht die Rede sein kann, berechnete Regnault aus den gegebenen Daten die Zahl 79,19 und als Mittel aus vier derartigen Versuchen 79,24.

Aehnliche Versuche mit Eis gaben im Mittel 79,06. (Poggendorff's Annalen Bd. LXII, S. 42.)

Genaue Versuche über die latente Flüssigkeitswärme anderer Substanzen sind erst von Person angestellt worden (Annal. de chimie et de physique 3. série. T. XXI, XXII, XXVII). Die wichtigsten Resultate seiner Untersuchungen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

	Schmelzpunkt.	Specifische Wärme.		Latente Wärme.
		c	c'	
Wasser	0° C.	0,504	1,000	79,25
Phosphor	44,2	0,179	0,204	5,03
Schwefel	115,2	0,203	0,234	9,37
Salpetersaures Natron	310,5	0,278	0,413	62,97
Salpetersaures Kali	339,0	0,239	0,332	47,37
Chlornatrium	—	0,545	0,555	40,70
Zinn	237,7	0,0562	0,0637	14,25
Wismuth	266,8	0,0308	0,0363	12,64
Blei	326,2	0,0314	0,0402	5,37
Zink	415,3	0,0955	—	28,13
Quecksilber	— 40	—	0,0333	2,83

Was die Bedeutung der beiden unter c und c' stehenden Columnen betrifft, so müssen wir auf das später folgende Capitel über specifische Wärme verweisen, deren Kenntniss zur Ermittelung der latenten Schmelzungswärme nach Person's Methode nothwendig ist. Person's Verfahren ist im Wesentlichen Folgendes: Der zu untersuchende Körper wird geschmolzen und auf eine Temperatur t erwärmt, welche bedeutend höher ist als sein Schmelzpunkt. In diesem Zustande wird er in das Wasser eines Calorimeters eingetaucht, dessen Masse P und dessen Temperatur T ist. Nach vollständiger Erstarrung und Abkühlung des zu prüfenden Körpers ist die Temperatur dieser Wassermasse auf die Temperatur θ gestiegen, die Wärmemenge des Wassers hat also zugenommen um $P(\theta - T)$. Die Wärmemenge, welche der erstarrende Körper verliert, besteht aus drei Theilen, nämlich 1) der Wärmemenge, welche er verliert, während er von der Temperatur t bis zum Schmelzpunkt t erkaltet; sie ist $p \,.\, c'(t - \mathrm{t})$, wenn p die Masse des zu prüfenden Körpers und c' seine specifische Wärme im flüssigen Zustand bezeichnet; 2) der latenten Schmelzungswärme px, welche bei seinem Erstarren frei wird, und 3) der Wärmemenge, welche der erstarrte Körper abgiebt, indem er bis zur Temperatur θ erkaltet und welche ist $pc(\mathrm{t} - \theta)$, wenn c die specifische Wärme des fraglichen Stoffes im festen Zustande bezeichnet. Man hat also

$$P(\theta - T) = pc'(t - \mathrm{t}) + px + pc(\mathrm{t} - \theta) \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

Der in das Kühlwasser einzuführende geschmolzene Körper befand sich in einem dünnen Kupfergefäss, dessen Wärmeabgabe an das Wasser in Rechnung gebracht werden muss. Der Werth c der specifischen Wärme der fraglichen Substanzen im festen Zustande ist durch die später zu besprechenden Versuche von Regnault ermittelt worden; um den Werth c' der specifischen Wärme derselben im flüssigen Zustande zu ermitteln, stellte Person den eben angedeuteten Versuch für jede Substanz zweimal an, indem er den geschmolzenen Körper einmal bis zur Temperatur t, und ein andermal bis zur Temperatur t' erwärmte, welche von t möglichst verschieden sein muss. Der erste Versuch liefert die Gleichung 1), der zweite liefert die Gleichung

$$P(\theta' - T = pc'(t' - \mathrm{t}) + px + p(\mathrm{t} - \theta') \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

Aus der Combination der Gleichungen 1) und 2) ergiebt sich alsdann der Werth von c' und von x.

217 **Kältemischungen.** Bezeichnen wir mit W die Wärmemenge, welche irgend ein fester Körper bei der Temperatur des Schmelzpunktes enthält, so enthält das gleiche Quantum desselben Stoffes bei derselben Temperatur im flüssigen Zustande die Wärmemenge $W + s$, wenn s die Schmelzungswärme bezeichnet.

Die gesammte Wärmemenge, welche in einem flüssigen Körper enthalten ist, zerfällt also in zwei Theile, von denen der eine, die oben mit

s bezeichnete Schmelzungswärme, nur dazu dient, den flüssigen Zustand zu erhalten, ohne auf das Gefühl und das Thermometer zu wirken.

So wie beim Schmelzen eines festen Körpers Wärme gebunden wird, so findet auch eine Wärmebindung statt, wenn ein fester Körper durch Auflösung in den flüssigen Zustand übergeführt wird. Wenn also irgend ein lösliches Salz in Wasser aufgelöst wird, so wird dabei eine entsprechende Wärmemenge gebunden.

Diese Wärmemenge kann nun entweder von aussen zugeführt werden, oder wenn dies nicht der Fall ist, so muss ein Theil der bis dahin im Wasser und im Salz enthaltenen fühlbaren Wärme verwendet werden, um die Schmelzung zu bewirken, die Temperatur muss also sinken. Man kann sich davon leicht überzeugen, wenn man ein fein gepulvertes, leicht lösliches Salz, etwa Salpeter, in Wasser wirft und die Auflösuug durch Umrühren befördert; die Temperatur des Wassers wird dabei um einige Grade sinken.

Wenn Schnee oder gestossenes Eis etwa von 0° und Kochsalz von 0° gemengt werden, so verbinden sie sich zu einer flüssigen Salzlösung; dabei sinkt die Temperatur mehr und mehr, weil ja durch das Flüssigwerden zweier vorher fester Körper viel Wärme gebunden wird.

Bezeichnen wir mit W die fühlbare Wärme, welche in dem Schnee von 0° und in dem Salz von 0° enthalten ist, mit s die Wärmemenge, welche erforderlich ist, um das Gemisch in den flüssigen Zustand überzuführen, so ist nach der Schmelzung die noch übrige fühlbare Wärme nur noch $W - s$, vorausgesetzt, dass von aussen gar keine Wärme zugeführt ist, es muss also eine entsprechende Temperaturerniedrigung stattgefunden haben.

Auf diesem Principe beruhen die sogenannten Kältemischungen, von denen folgende die bekanntesten sind; die Temperaturerniedrigung, welche man durch sie hervorbringen kann, ist bei jeder angegeben.

Gepulvertes Glaubersalz, mit Salzsäure übergossen	von + 10°	bis — 17°C.
5 Gewichtstheile Salmiak 5 „ Salpeter 19 „ Wasser	„ + 10°	„ — 12°
1 „ Kochsalz 3 „ Schnee	„ 0°	„ — 21°
3 „ salzsaurer Kalk 2 „ Schnee . .	„ 0°	„ — 28°
1 „ verdünnte Schwefelsäure 1 „ Schnee	„ — 7°	„ — 51°

Um mit solchen Mischungen bedeutende Kältegrade hervorzubringen, muss man möglichst grosse Quantitäten, wenigstens mehrere Pfunde der zu mischenden Substanzen anwenden, und muss die Salze fein pulvern, damit die Auflösung rasch vor sich gehen kann. Das Gefäss, in welchem

man die Mischung macht, muss aus schlecht leitenden Substanzen gemacht sein, damit nicht von aussen her Wärme zugeführt wird.

Um sehr hohe Kältegrade zu erreichen, muss man die zu mischenden Substanzen selbst vor der Mischung möglichst erkalten.

Die Temperatur von 17,7° C., welche den Nullpunkt des Fahrenheit'schen Thermometers bildet, wird durch Mischung von Schnee und Salmiak hervorgebracht.

Statt des oben angegebenen salzsauren Kalks darf man kein Chlorcalcium nehmen; der salzsaure Kalk ist freilich nichts Anderes als Chlorcalcium, welches mit Krystallwasser verbunden ist; wollte man wasserfreies Chlorcalcium zu einer Kältemischung anwenden, so würde es erst soviel Wasser aufnehmen, als nöthig ist, um den salzsauren Kalk zu bilden, dabei aber würde Wärme frei werden, wodurch dann nothwendig die erkaltende Wirkung der Mischung sehr vermindert wird.

Unter den oben genannten Kältemischungen ist Schnee oder gestossenes Eis mit Kochsalz jedenfalls die bequemste und zweckmässigste, da die Anwendung von Säuren immer mehr oder weniger unangenehm ist. Hat man aber weder Schnee noch Eis zur Disposition, so ist es am zweckmässigsten, sehr leicht lösliche Salze und Wasser anzuwenden, etwa die oben angegebene Mischung von 5 Theilen Salmiak und 5 Theilen Salpeter auf 19 Theile Wasser, oder noch besser, ungefähr gleiche Gewichtstheile salpetersaures Ammoniak und Wasser.

Um durch rasche Auflösung von salpetersaurem Ammoniak eine bedeutende Temperaturerniedrigung zu erzeugen und dadurch Wasser oder eine andere Flüssigkeit zum Gefrieren zu bringen, kann man Grubeaud's Apparat anwenden, welcher Fig. 615 bis 617 dargestellt ist. Das Wasser oder überhaupt die Flüssigkeit, welche man zum Gefrieren bringen will, wird in ein Gefäss gebracht, welches Fig. 617 im Grundriss und zwar von unten gesehen, Fig. 615 aber im Durchschnitt nach der Linie ab dargestellt ist. Es besteht aus mehreren schwach

Fig. 615.

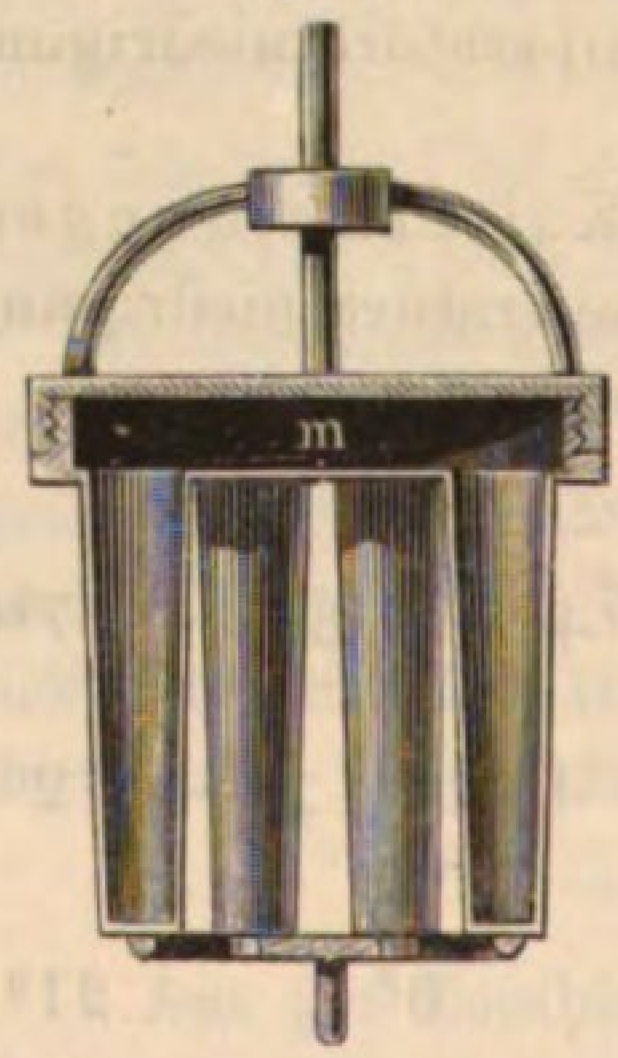


Fig. 616.

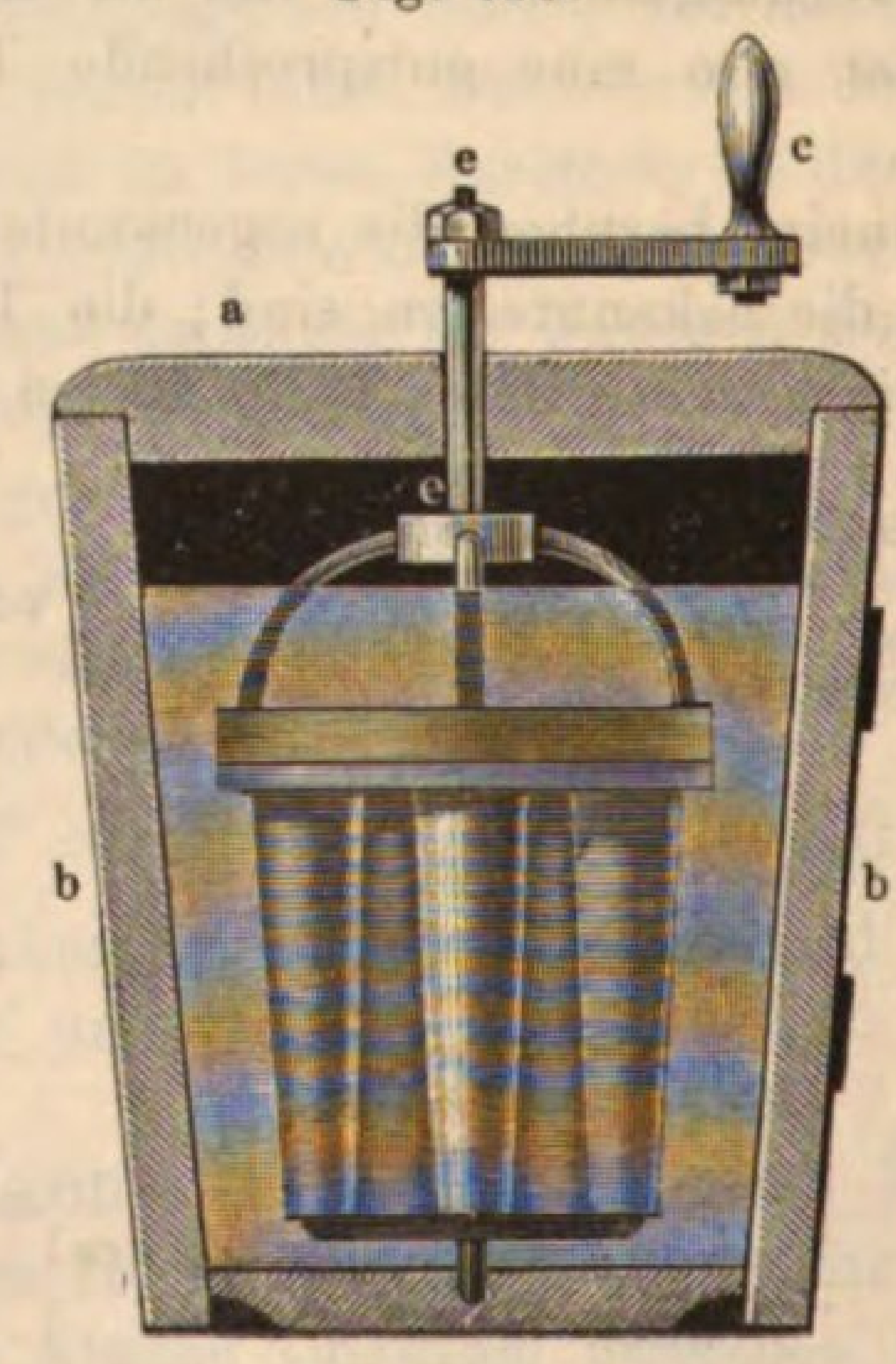


Fig. 617.



conischen Röhren von sehr dünnem Zinn oder von Blech. Diese Röhren münden oben in eine flache cylindrische Kammer, welche mittelst eines aufzuschraubenden Deckels verschlossen wird.

An dem unteren Ende dieses Röhrenapparates ist ein kleiner eiserner Zapfen angebracht, welcher in eine Höhlung im Boden eines hölzernen Eimers passt. Ist der Röhrenapparat in den Eimer, Fig. 616, eingesetzt, so schüttet man den Eimer nahe halb voll Wasser und fügt dann krystallisirtes salpetersaures Ammoniak hinzu (auf 1 Pfd. Wasser 1 Pfd. des Salzes). Nun wird rasch der Deckel auf den Eimer aufgesetzt, durch dessen Mitte eine auf dem Deckel des Röhrenapparates befestigte eiserne Axe hindurchgeht, auf welcher endlich eine Kurbel angeschraubt wird, mittelst deren der Röhrenapparat in rasche Rotation zu versetzen ist. Die dadurch im Wasser des Eimers hervorgebrachte Bewegung beschleunigt die Auflösung des Salzes, welche eine so bedeutende Wärmebindung zur Folge hat, dass das in den Röhren enthaltene Wasser gefriert.

Durch Eindampfen der Lösung kann man das salpetersaure Ammoniak wieder in krystallisirtem Zustande erhalten und es dann später abermals zur Eisbereitung verwenden.

Freiwerden der Wärme beim Erstarren. Beim Uebergange der Körper aus dem flüssigen Zustande in den festen beobachtet man ganz analoge Erscheinungen wie beim Schmelzen; das Erstarren findet nämlich 1) in der Regel bei einer bestimmten Temperatur statt, welche mit dem Schmelzpunkte zusammenfällt, und 2) wird alle latente Wärme, welche beim Schmelzen gebunden worden war, beim Festwerden wieder frei. 218

Eine Erscheinung, welche das Freiwerden der gebundenen Wärme beim Festwerden flüssiger Körper beweist, ist folgende: Im Jahre 1714 hatte Fahrenheit die Beobachtung gemacht, dass manchmal reines Wasser bis auf — 5, ja bis — 10⁰ erkaltet werden könne, ohne zu gefrieren, wenn man es in kalten Räumen vor jeder Erschütterung geschützt stehen lässt. Wird nun das Gefäss, in welchem solches unter 0⁰ erkaltetes Wasser enthalten ist, angestossen oder das Wasser auf irgend eine andere Weise in Bewegung gesetzt, so bilden sich auf einmal feine Eisblättchen durch die ganze Wassermasse hindurch und die Temperatur derselben steigt augenblicklich auf 0⁰.

Die Verzögerung des Erstarrens bei einer namhaften Erkaltung unter 0⁰ findet viel leichter statt, wenn die Oberfläche des Wassers dem Druck der atmosphärischen Luft entzogen ist, wenn sich also über der Wasseroberfläche ein luftleerer Raum befindet. Man hat diesen Umstand zur Construction des Apparates Fig. 618 (a. f. S.) benutzt, mit Hülfe dessen man das Freiwerden der Wärme beim Erstarren des Wassers jederzeit leicht zeigen kann. Das Gefäss eines Quecksilberthermometers befindet sich in der Mitte eines weiteren zum Theil mit Wasser gefüllten Gefässes. Vor dem Zuschmelzen endigte dieses weitere Gefäss bei *a* mit

einem feinen offenen Röhrchen, durch welches es vollständig mit Wasser gefüllt wird. Durch Kochen wird ein Theil des Wassers und mit ihm alle im Gefäss noch etwa enthaltene Luft entfernt, so dass nach dem Zuschmelzen bei *a* sich über dem Wasser im Gefäss ein luftleerer Raum befindet.

Das Gefäss des Apparates, Fig. 618, wird nun zunächst in Schnee gesteckt, bis das Thermometer auf 0° gefallen ist; alsdann taucht man es in eine Kältemischung oder noch besser in eine durch eine Kältemischung auf — 6 bis — 8 Grad erkaltete, wasserhelle, concentrirte Kochsalzlösung. Allmälig sinkt das Thermometer um einige Grade, um dann plötzlich wieder auf 0° zu steigen, sobald die massenhafte Erstarrung des Wassers im Gefäss eintritt.

Fig. 618.

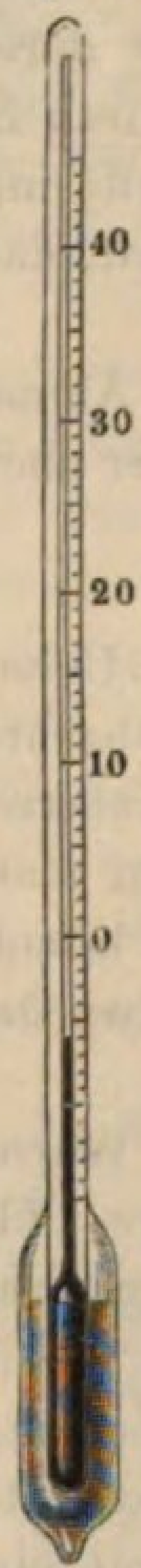


Fig. 619.

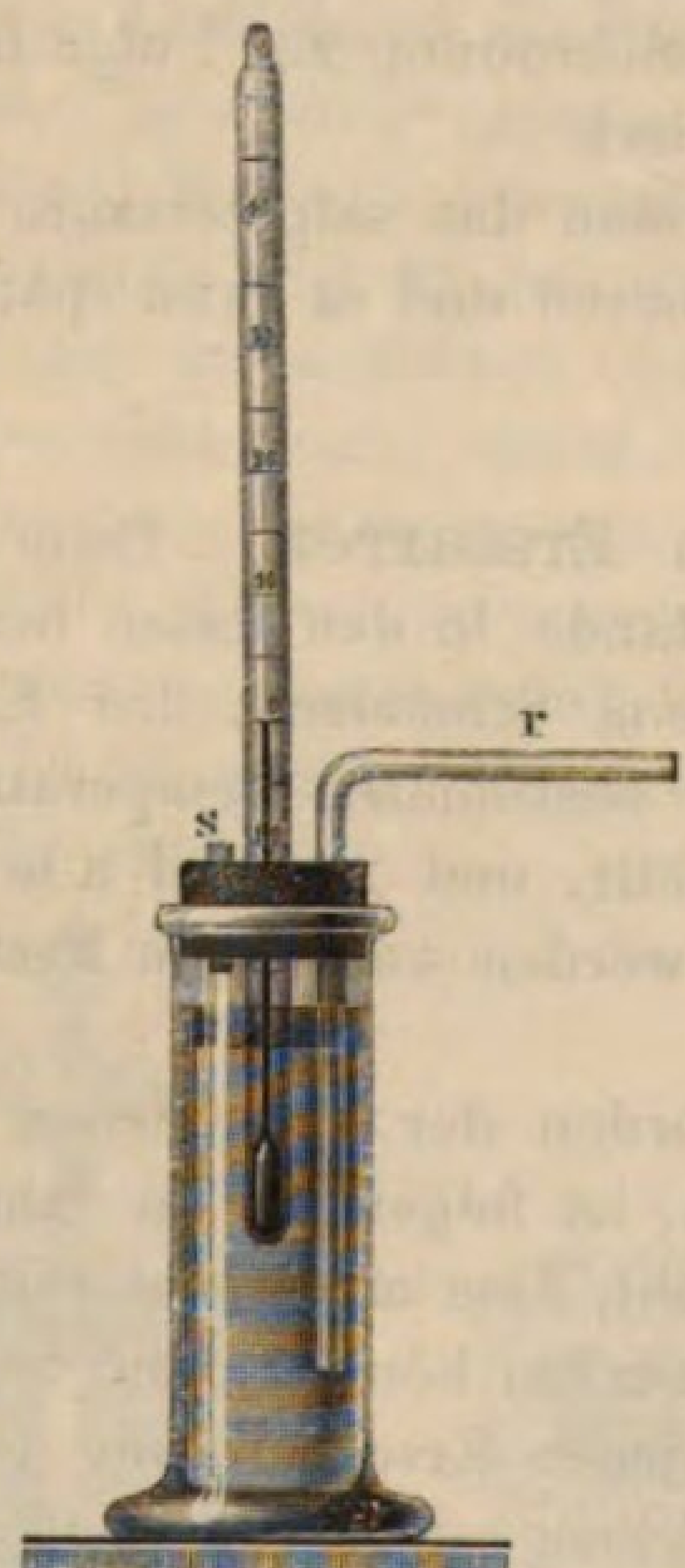
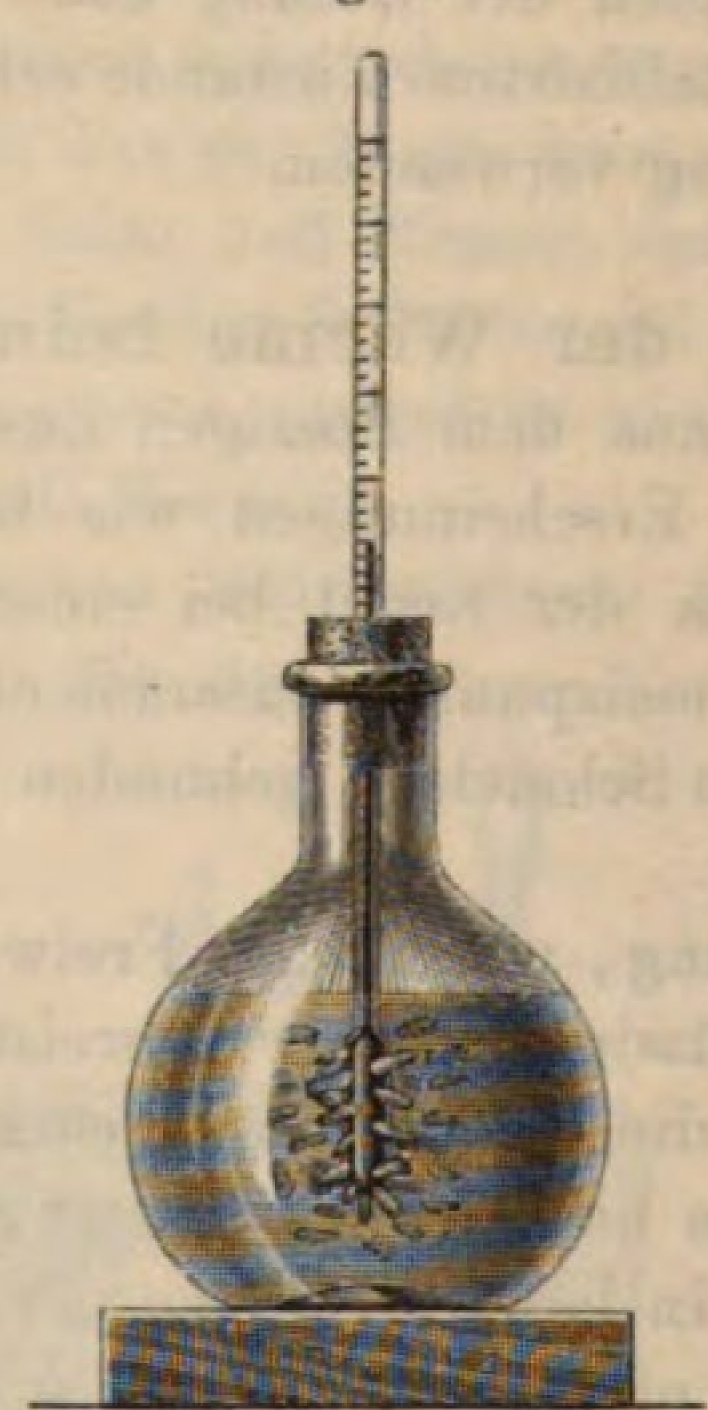


Fig. 620.



Auch durch Aufgiessen von Oel lässt sich das Erstarren des erkaltenden Wassers verzögern. Darauf gründet sich eine andere von Hugi herrührende Form des Versuchs, zu deren Ausführung man den Apparat Fig. 619, anwendet. Ein Glascylinder ist zum Theil mit Wasser gefüllt und auf dasselbe ist eine 1 bis 2 Linien hohe Schicht von Oel gegossen. Der Kork, welcher den Glascylinder oben schliesst, ist mit drei Oeffnungen versehen; in der einen steckt ein Thermometer, dessen Gefäss bis in das Wasser hinabreicht. In der zweiten steckt ein gebogenes Glasrohr *r*, welches im Cylinder ungefähr 1 Zoll über dem Boden mündet. Durch die dritte Oeffnung, deren Stelle in unserer Figur durch ein kurzes darin steckendes Glasröhrchen *s* bezeichnet ist, steht die Luft im oberen Theil des Cylinders mit der äusseren in Verbindung.

Dieser Apparat wird nun in ein weiteres Gefäss gestellt und mit Schnee umgeben, bis die Temperatur des Wassers im Inneren ungefähr auf 0° gesunken ist. Alsdann wird der Schnee vorsichtig entfernt und unter Vermeidung jeder Erschütterung durch eine Kältemischung oder

eine klare Kochsalzlösung von — 6 bis — 7° C. ersetzt. Wenn in Folge dessen die Temperatur des Wassers auf — 3 bis — 4° C. gesunken ist, kann man das Erstarren desselben dadurch einleiten, dass man durch das Rohr *r* etwas Luft einbläst. Augenblicklich bilden sich durch die ganze Wassermasse hindurch zahllose feine Eisblättchen und das Thermometer steigt plötzlich wieder auf 0°.

Wasserkugeln, welche in einer Mischung von Mandelöl und Chloroform schweben, welche mit dem Wasser gleiches specifisches Gewicht hat, können, wie Dufour (Arch. des sciences phys. et nat.) beobachtet hat, auf — 8 bis — 10°, kleinere Kügelchen selbst auf — 20° erkaltet werden, ohne zu erstarren.

In gleicher Weise bleiben nach Dufour's Beobachtungen auch andere Substanzen weit unter ihrem Schmelzpunkt flüssig, wenn sie nicht in Berührung mit festen Körpern sind, sondern in Flüssigkeiten von gleichem specifischen Gewichte schweben. So blieb z. B. eine Kugel geschmolzenen Schwefels von 6 Mm. Durchmesser, in einer Lösung von Chlorzink schwebend, noch bei einer Temperatur von 50° C. flüssig.

Die beim Erstarren frei werdende Wärme lässt sich sehr schön mit unterschwefligsaurem Natron in folgender von Böttger angegebenen Weise zeigen. Man füllt ein Glaskölbchen, Fig. 620, welches ungefähr 6 bis 7 Unzen Wasser fassen kann, und welches einen etwas weiten Hals hat, mit gestossenem krystallisirten unterschwefligsauren Natron. Bei vorsichtigem Erhitzen schmilzt das Salz bei einer Temperatur von 45° R. in seinem Krystallwasser. Ist das Salz völlig geschmolzen, so stellt man das Kölbchen auf einen schlechten Wärmeleiter, damit die Erkaltung möglichst langsam vor sich gehe. Nach 2 bis 3 Stunden ist das Kölbchen sammt seinem Inhalte bis auf die Temperatur der umgebenden Luft erkaltet, wie man am besten sehen kann, wenn man in dem geschmolzenen Salze ein Thermometer stehen lässt, ohne dass ein Erstarren des Salzes erfolgt, wenn man das Kölbchen vor Erschütterungen geschützt hat; wenn man aber nun das Kölbchen erschüttert, oder noch besser ein Stückchen des festen Salzes hineinfallen lässt, so geht die Krystallisation durch die ganze Masse auf einmal vor sich, und dabei steigt das Thermometer um 18 bis 20 Grad.

Dasselbe Kölbchen mit unterschwefligsaurem Natron lässt sich immer wieder zu demselben Versuche anwenden.

Damit das Kölbchen während des Aufbewahrens nicht in Folge von Temperaturwechsel zersprengt werde, darf die Salzmasse dasselbe nicht ganz bis zur Hälfte ausfüllen.

Auch essigsaures Natron kann mit bestem Erfolg zu diesem Versuch verwendet werden (Journ. f. prakt. Chemie 1867).

Wenn das Festwerden bei der gewöhnlichen Erstarrungstemperatur vor sich geht, so geschieht es immer nur langsam und ohne Temperaturerhöhung. Wenn z. B. das Wasser bei 0° gefriert, so beginnt das Erstarren in der Regel gleichzeitig an verschiedenen Punkten, und an die-

sen Stellen geben die zuerst erstarrenden Theilchen ihre latente Wärme an die benachbarten ab, welche dadurch noch einige Augenblicke flüssig erhalten werden. Deshalb beobachtet man dünne Eisblättchen und feine Eisnadeln, welche auf mannigfaltige Weise in der flüssigen Masse gleichsam fortwachsen. Auf diese Weise zerstreut sich die latente Wärme nach und nach; ohne die latente Wärme müsste die ganze flüssige Masse, bis zur Erstarrungstemperatur erkaltet, auf einmal fest werden.

Wenn ein Körper aus einer Flüssigkeit herauskrystallisirt, so muss alle Wärme frei werden, die bei seiner Auflösung gebunden wurde; meistens geht aber die Kystallisation nur langsam vor sich, so dass man hier ebenso wenig eine Temperaturerhöhung nachweisen kann, wie bei dem Gefrieren des Wassers unter den gewöhnlichen Umständen; doch lässt sich die bei dem Krystallisiren frei werdende Wärme am Thermometer durch folgendes Verfahren sichtbar machen. Man löse 3 Theile Glaubersalz in 2 Theilen Wasser bei hoher Temperatur auf, giesse dann etwas Oel auf die heisse Auflösung. Bei ruhigem Erkalten krystallisirt das Salz noch nicht aus der Lösung heraus, obgleich sie gewissermaassen für die Temperatur, bis zu welcher sie sich abgekühlt hat, übersättigt ist. Wenn man aber nun die unterdrückte Krystallisation dadurch einleitet, dass man irgend einen festen Körper in die Lösung bringt, so bilden sich plötzlich eine Menge von Glaubersalz-Krystallen, und die Temperatur der Lösung steigt dabei oft um 15 bis 20 Grad.

Auch wenn Wasser sich mit irgend einer anderen Substanz zu einem festen Körper verbindet, muss Wärme frei werden. Dadurch erklärt sich zum Theil die hohe Temperatur, welche entsteht, wenn man gebrannten Kalk mit Wasser übergiesst; das Wasser verbindet sich nämlich mit dem kaustischen Kalk zu Kalkhydrat.

Der krystallisirte Gyps ist bekanntlich eine Verbindung von schwefelsaurem Kalk mit Wasser. Durch Erhitzen wird das Wasser ausgetrieben und es bleibt ein weisses Pulver übrig, der gebrannte Gyps, welchen man zum Giessen der Gypsfiguren anwendet. Rührt man den gebrannten Gyps mit einer entsprechenden Menge Wasser zu einem Brei an, so wird derselbe nach einiger Zeit plötzlich erstarren, wobei dann eine bedeutende Erwärmung eintritt.

Der krystallisirte Kupfervitriol ist ein Hydrat des schwefelsauren Kupferoxyds. Durch Glühen kann man das Wasser austreiben und es bleibt dann das schwefelsaure Kupferoxyd als ein weisses Pulver zurück. Giesst man etwas Wasser auf dasselbe, so bildet sich sogleich unter bedeutender Wärmeentwickelung das blaue Salz wieder.

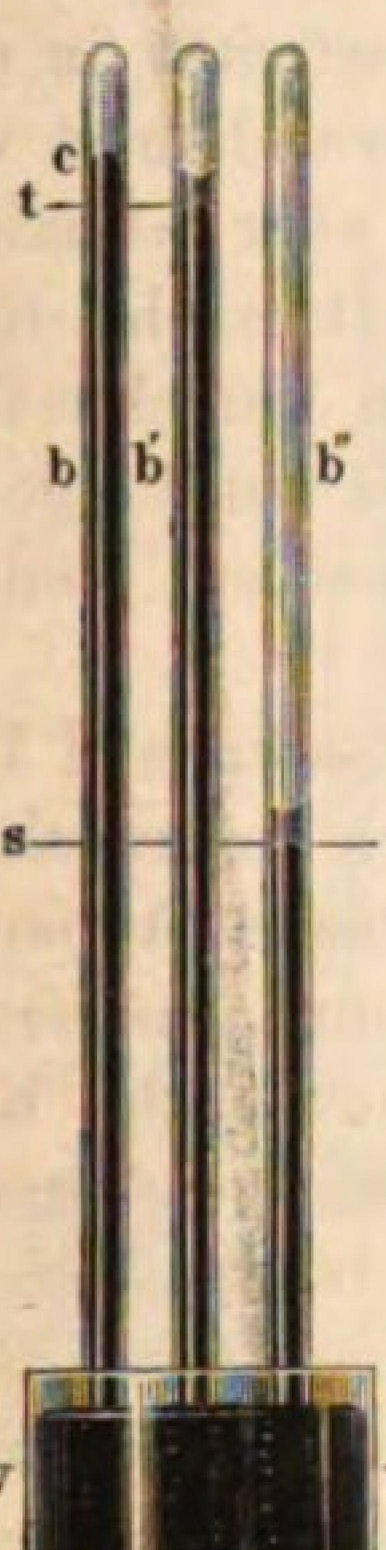
In diesen und ähnlichen Fällen ist aber die Quelle der Wärmeentwickelung nicht allein in dem Uebergange des Wassers in den festen Zustand zu suchen, sondern sie ist zum Theil auch eine Folge des chemischen Processes an und für sich, wie dies weiter unten noch gezeigt werden soll.

219 **Dampfbildung.** Wenn man Wasser in einem offenen Gefäss ins Freie setzt, so nimmt seine Menge mehr und mehr ab, und nach kürzerer oder längerer Zeit verschwindet es vollständig, es verdunstet. Das Phänomen der Verdunstung geht rascher vor sich, wenn man eine Schale mit Wasser über Feuer zum Kochen bringt; in kurzer Zeit ist alles Wasser verschwunden. Es hat Gasform angenommen und hat sich in Form von Wasserdampf in der atmosphärischen Luft verbreitet. Mit dem Namen Dampf bezeichnet man eine in gasförmigen Zustand übergegangene Flüssigkeit.

Man war lange Zeit der irrigen Meinung, dass die Dämpfe für sich selbst nicht bestehen könnten; man glaubte, sie seien ganz in derselben Weise in der Luft aufgelöst wie die Salze im Wasser; um eine Flüssigkeit gasförmig zu machen, bedürfe es ebenso eines Auflösungsmittels, der Luft, wie ein Lösungsmittel, etwa Wasser, nöthig sei, um die festen Salze flüssig zu machen. Um die Unrichtigkeit dieser Meinung darzuthun und zugleich die wahren Gesetze der Dampfbildung zu studiren, muss man machen, dass die Dampfbildung im luftleeren Raume vor sich geht. Dazu eignet sich nun die Torricelli'sche Leere ganz vorzüglich, nicht allein weil man es mit einem vollkommen luftleeren Raume zu thun hat, sondern auch weil die Depression der beweglichen Quecksilbersäule ein Mittel bietet, die Expansivkraft der Dämpfe zu messen.

Nehmen wir an, man habe in einem weiteren, mit Quecksilber gefüllten Gefässe (Fig. 621) drei Torricelli'sche Röhren neben einander gestellt, so wird in allen das Quecksilber gleich hoch stehen; wenn man aber mit Hülfe einer gekrümmten Pipette etwas Aether in die Röhre b'' bringt, so steigt er alsbald bis zur Torricelli'schen Leere in die Höhe, und augenblicklich sinkt auch der Gipfel der Quecksilbersäule bis s, also ungefähr bis auf die Hälfte der Barometerhöhe. Dem Gewicht der kleinen Aetherschicht, welche jetzt auf dem Quecksilber schwimmt, kann man diese Depression nicht zuschreiben; hat man, wie es nöthig ist, wenn der Versuch entscheidend sein soll, Aether genommen, welcher durch Kochen vollständig von Luft befreit worden ist, so kann man jene Depression auch nicht der aus dem Aether sich entbindenden Luft zuschreiben. Aus dem Aether müssen sich also Dämpfe entwickelt haben, welche, wie die Gase, eine Spannung haben; denn diese Aetherdämpfe wirken gerade so, als ob man eine kleine Portion Luft in die leere Kammer hätte aufsteigen lassen.

Fig. 621.



$\frac{1}{14}$

Die Grösse der Depression giebt zugleich ein Maass für die Spannkraft der Aetherdämpfe. Nehmen wir an, die durch die Aetherdämpfe deprimirte

Quecksilberkuppe s stehe um 390 Mm. tiefer als die Kuppe c des anderen Barometers, über welcher sich noch ein vollkommenes Vacuum befindet, so ist klar, dass die Aetherdämpfe auf die Kuppe s gerade so stark drücken, als eine Quecksilbersäule von 390 Mm. Höhe. Die Depression von 390 Mm. ist also wirklich das Maass für die Spannkraft des Aetherdampfes.

Hätte man in das mittlere Barometerrohr b' anstatt Aether eine weniger leicht verdampfende Flüssigkeit, etwa Wasser, gebracht, so würde eine weit geringere Depression erfolgt sein als beim Aether, denn bei einer mittleren Lufttemperatur beträgt die Depression nur ungefähr 15 Mm.; es folgt daraus, dass unter diesen Umständen der Wasserdampf nur eine Spannkraft hat, welche einer Quecksilbersäule von 15 Mm. das Gleichgewicht hält.

220 **Unterschied zwischen permanenten Gasen und Dämpfen.** Das Bestreben der Dämpfe, sich auszudehnen, geht, wie bei den Gasen, bis ins Unendliche, d. h. die kleinste Menge Dampf breitet sich in einem leeren Raume, so gross er auch sein mag, nach allen Seiten aus, und übt auf die Wände immer noch einen mehr oder minder grossen Druck aus. Die kleinste Menge Wasser ist also fähig, in Dampfgestalt einen Raum von mehreren tausend Cubikmetern in derselben Weise auszufüllen wie die Luft. Obgleich aber die Dämpfe eine bis ins Unendliche gehende Expansionskraft haben, so kann man doch ihre Spannkraft nicht durch vermehrten Druck beliebig vergrössern, wie dies bei Gasen der Fall ist. Man mag eine gegebene Luftmenge noch so stark comprimiren, immer wird nach dem Mariotte'schen Gesetze ihre Elasticität in demselben Verhältnisse zunehmen, in welchem ihr Volumen verkleinert wird.

Bei der Compression von Dämpfen gelangt man aber alsbald zu einer Grenze, über welche hinaus ihre Spannkraft nicht mehr gesteigert werden kann, wo jede fernere Compression nur eine theilweise Verdichtung des Dampfes zu tropfbarer Flüssigkeit zur Folge hat.

Für Dämpfe giebt es also ein, wie wir bald sehen werden, von der Temperatur abhängiges Maximum der Spannkraft.

Um diesen charakteristischen Unterschied zwischen Gasen und Dämpfen durch den Versuch nachzuweisen, bedient man sich am zweckmässigsten des schon im ersten Bande Seite 182 beschriebenen Apparates, Fig. 622; nur bringt man nicht Luft in die Barometerröhre, sondern etwas Aether. Man füllt zu diesem Zwecke die Torricelli'sche Röhre sehr sorgfältig mit Quecksilber, so dass alle Luft möglichst entfernt ist, was man am vollständigsten durch Auskochen erreicht. Ist die Röhre so bis auf 1 oder 2 Cm. mit Quecksilber gefüllt, so giesst man diesen Raum noch voll Aether, welcher durch vorheriges Auskochen luftfrei gemacht sein muss, kehrt die Röhre um und taucht sie in das Quecksilbergefäss ba. Der Aether steigt in die Höhe, ein Theil bleibt flüssig, ein anderer verdampft im leeren Raume und bewirkt die Depression der Quecksilber-

säule, wie dies durch Fig. 623 *A* angedeutet ist. Die Säule *ns* habe z. B. nur noch eine Höhe von 400 Mm., während sie 760 Mm. hoch sein würde, wenn oben ein Vacuum wäre, so ist die Spannkraft des Aetherdampfes gleich 360 Mm. Wenn man nun die T o r r i c e l l i'sche Röhre

Fig. 622.

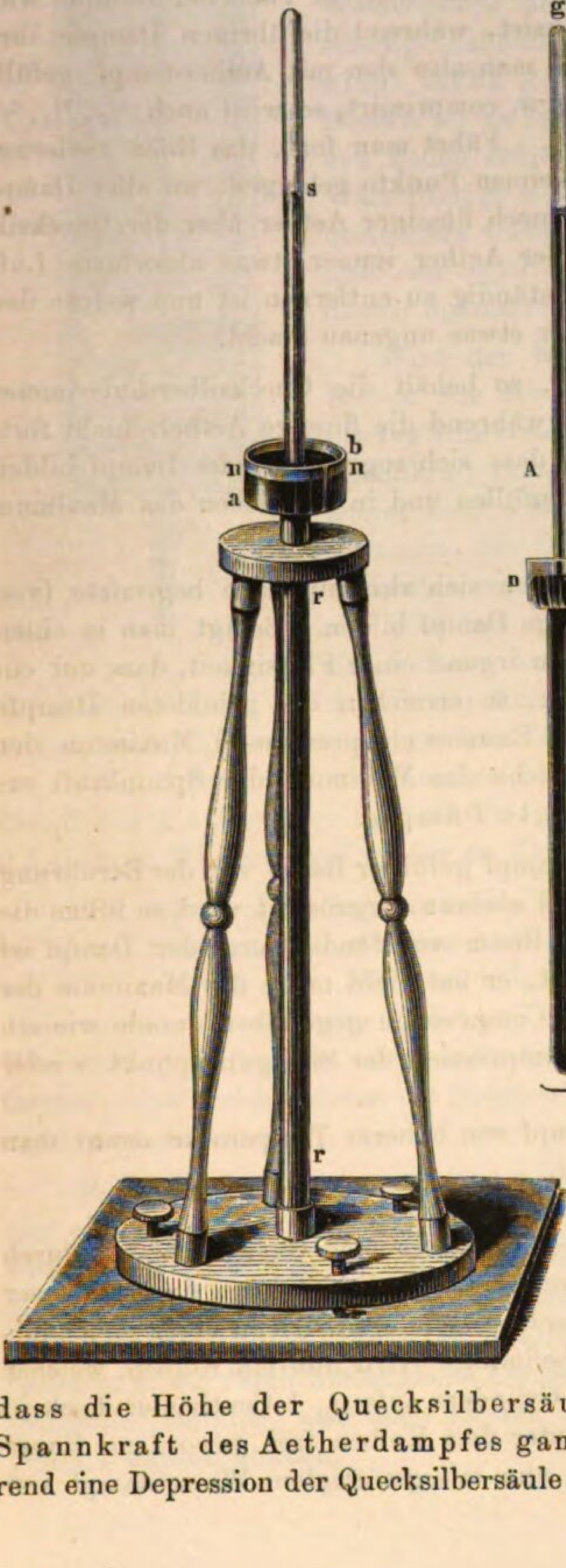
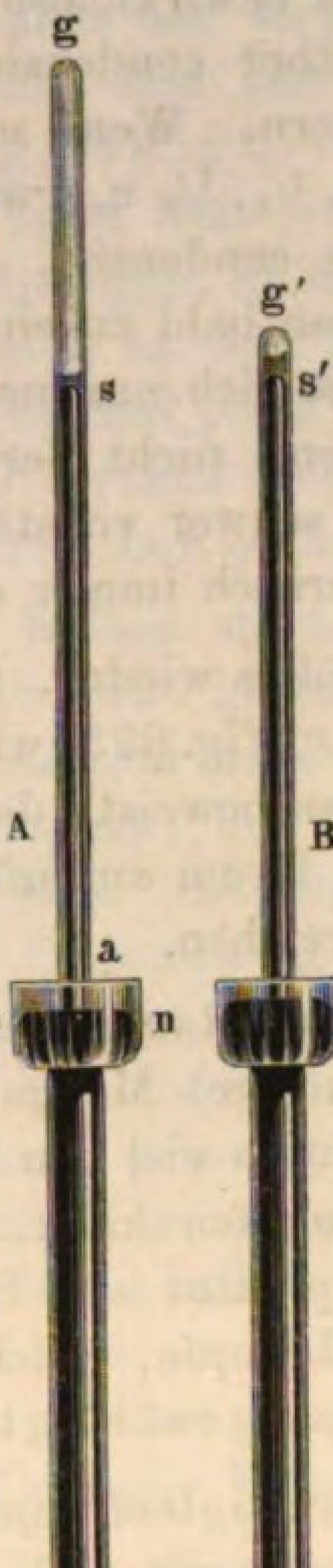
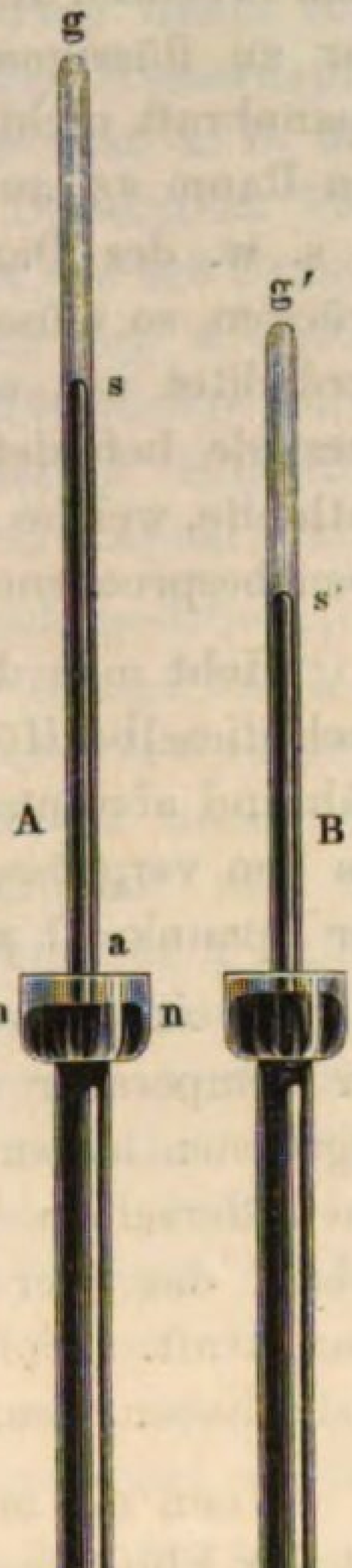


Fig. 623.



Dampf.

Fig. 624.



Luft.

tiefer in das mit Quecksilber gefüllte Gefäss hinabdrückt, um dadurch den mit Aetherdampf gefüllten Raum zu verkleinern, wie dies durch Fig. 623 *B* angedeutet ist, so beobachtet man, dass die Höhe der Quecksilbersäule *ns*, dass also auch die Spannkraft des Aetherdampfes ganz unverändert bleibt, während eine Depression der Quecksilbersäule erfolgt sein würde, wie Fig. 624

angedeutet ist, wenn sich Luft über dem Quecksilber im Barometerrohre befunden hätte. Der Aetherdampf verhält sich also anders als die Luft; das Volumen des Aetherdampfes wird vermindert, ohne dass seine Elasticität zunimmt. Je mehr man aber niederdrückt, desto mehr nimmt die Menge des flüssigen Aethers zu, die Verkleinerung des mit Aetherdämpfen erfüllten Raumes bewirkt also, dass sich ein Theil der Dämpfe wieder zu flüssigem Aether condensirt, während die übrigen Dämpfe ihre Spannkraft nicht ändern. Wenn man also den mit Aetherdampf gefüllten Raum sg auf $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$ u. s. w. comprimirt, so wird auch $^1/_2$, $^2/_3$, $^3/_4$ u. s. w. des Dampfes condensirt. Fährt man fort, das Rohr niederzudrücken, so müsste man bald zu einem Punkte gelangen, wo aller Dampf verdichtet ist, so dass sich nur noch flüssiger Aether über der Quecksilbersäule befindet, wenn nicht der Aether immer etwas absorbirte Luft enthielte, welche sehr schwer vollständig zu entfernen ist und welche den eben besprochenen Versuch immer etwas ungenau macht.

Hebt man die Röhre wieder, so behält die Quecksilbersäule immer noch dieselbe Höhe ns, Fig. 623, während die flüssige Aetherschicht fortwährend abnimmt, was beweist, dass sich sogleich wieder Dampf bildet, um den vergrösserten Raum auszufüllen und in demselben das Maximum der Spannkraft zu erreichen.

In einem gegebenen Raum kann sich also nur eine begrenzte (von der Temperatur abhängige) Menge Dampf bilden. Bringt man in einen gegebenen leeren Raum so viel von irgend einer Flüssigkeit, dass nur ein Theil derselben verdampfen kann, so erreichen die gebildeten Dämpfe alsbald das (der Temperatur des Raumes entsprechende) Maximum der Spannkraft. Solche Dämpfe, welche das Maximum der Spannkraft erreicht haben, nennt man gesättigte Dämpfe.

Wenn ein mit gesättigtem Dampf gefüllter Raum vor der Berührung mit der Flüssigkeit abgesperrt und alsdann vergrössert wird, so füllen die Dämpfe auch den vergrösserten Raum vollständig aus; der Dampf ist aber jetzt nicht mehr gesättigt, er hat nicht mehr das Maximum der Spannkraft und verhält sich einer Compression gegenüber gerade wie ein permanentes Gas, bis durch die Compression der Sättigungspunkt wieder erreicht ist.

Einen nicht gesättigten Dampf von höherer Temperatur nennt man auch einen überhitzten Dampf.

Ein Beispiel mag dies näher erläutern.

Ein hohler Cylinder von 1 Quadratdecimeter Querschnitt sei durch ein Rohr, Fig. 625, mit einem Dampfkessel in Verbindung, dessen Wasser auf 100° erwärmt ist, während der Cylinder selbst sich in einer gleichfalls auf 100° erwärmten Umgebung befindet. Wird nun ein Kolben, welcher ursprünglich auf dem Boden des Cylinders aufsass, 1 Centimeter hoch in die Höhe gezogen, so wird der unter dem Kolben frei gewordene Raum von 1 Cubikdecimeter Inhalt sich nun mit gesättigtem Wasserdampf von

100⁰ und 1 Atmosphäre Spannkraft füllen, und zwar beträgt das Gewicht des in den Cylinder übergetretenen Wasserdampfes gerade 0,6 Gramm.

Fig. 625.



Nun werde durch die Schliessung des Hahnes *h* die Communication des Cylinders mit dem Dampfkessel abgesperrt und der Kolben noch weiter in die Höhe gezogen, so werden nun die 0,6 Gramm Wasserdampf auch den vergrösserten Raum vollständig ausfüllen, aber nun ist der Wasserdampf nicht mehr gesättigt. Hätte man z. B. den Kolben bis zu einer Höhe von 4 Decimetern über den Boden aufgezogen, so würden die 0,6 Gramm Wasserdampf sich in dem Raume von 4 Cubikdecimetern verbreiten, jedes Cubikdecimeter würde also nur 0,15 Gramm Wasserdampf enthalten, dessen Spannkraft nur noch $^1/_4$ Atmosphäre ist.

Wird der Kolben wieder niedergedrückt, so befolgt nun der nicht gesättigte Dampf das Mariotte'sche Gesetz, er wird dichter, während seine Spannkraft zunimmt, bis der Kolben wieder die zuerst besprochene Stellung einnimmt und das Volumen des Cylinders unter ihm auf 1 Cubikdecimeter reducirt ist. Jetzt ist der Dampf wieder gesättigt und durch ferneres Niederdrücken des Kolbens kann seine Spannkraft nicht weiter vermehrt werden. Wird z. B. der Kolben so weit niedergedrückt, dass er sich noch $^1/_2$ Decimeter über dem Boden befindet, so werden in dem auf $^1/_2$ Cubikdecimeter verkleinerten Raum nur noch 0,3 Gramm Wasserdampf von 1 Atmosphäre Spannkraft enthalten sein, während die übrigen 0,3 Gramm Wasserdampf wieder zu flüssigem Wasser condensirt wurden.

Wir haben oben angenommen, dass die Temperatur des Wassers im Kessel 100⁰ betrage und dass auch der Cylinder und seine Umgebung auf 100⁰ erwärmt sei. Für eine höhere Temperatur würde jedes Cubikdecimeter mehr, für eine niedrigere würde es weniger als 0,6 Gramm Wasserdampf aufnehmen können, für jede Temperatur giebt es aber eine Grenze, über welche hinaus die Spannkraft und Dichtigkeit des Dampfes nicht wachsen kann.

Man sieht daraus, dass der Unterschied zwischen Gasen und Dämpfen nur ein relativer ist. Ein gesättigter Dampf kann bei Abschluss der Flüssigkeit, die ihn liefert, durch Vergrösserung des ihm gebotenen Raumes in den Zustand eines gewöhnlichen Gases übergeführt werden, während umgekehrt viele Gase, z. B. Kohlensäure, Ammoniakgas, schweflige Säure u. s. w., durch hinlängliche Compression in den Zustand eines gesättigten Dampfes, also auch in den tropfbar-flüssigen Zustand übergeführt werden können.

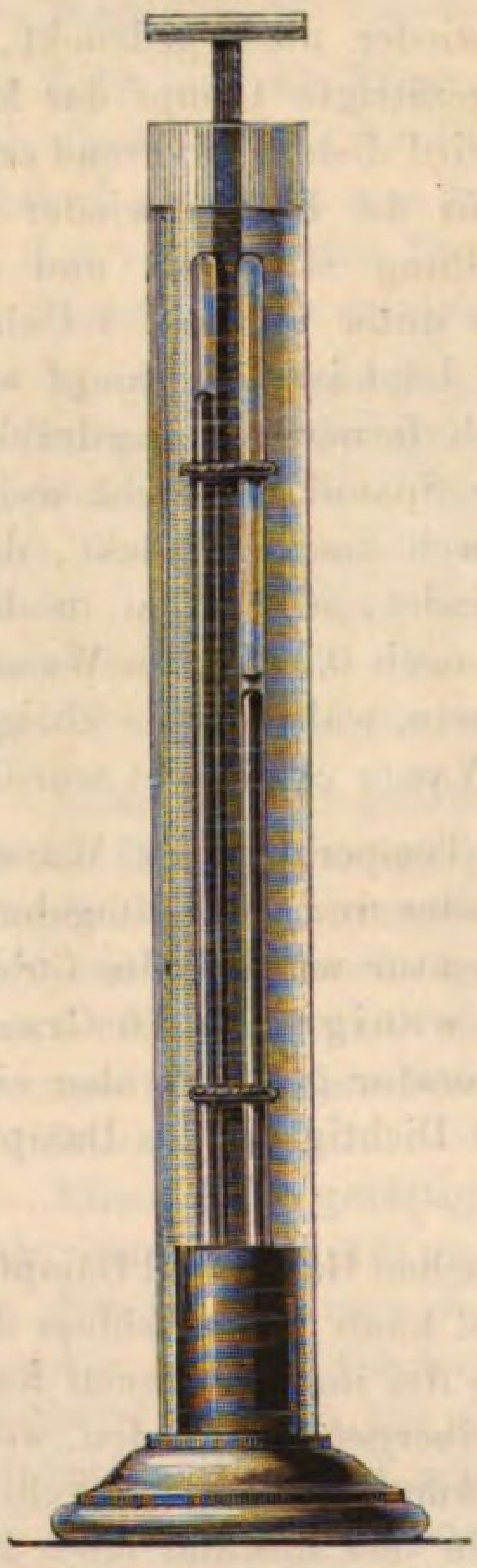
Solche Gase, welche man durch fortgesetzte Compression noch nicht tropfbar-flüssig zu machen im Stande war, nennt man **permanente Gase**.

Im gewöhnlichen Leben bezeichnet man mit dem Namen der Dämpfe nur solche gasförmige Körper, die bei dem mittleren Druck und der mittleren Temperatur der Atmosphäre noch tropfbar-flüssig sein können, wie Aether, Weingeist, Wasser u. s. w.

221 **Messung der Spannkraft der Wasserdämpfe unterhalb der Temperatur des Siedepunktes.** Um die Spannkraft des gesättigten Wasserdampfes zu bestimmen, hat man verschiedenartige Apparate anzuwenden, je nachdem man sie für niedrige oder hohe Temperaturen ermitteln will.

Zwischen 0⁰ und 100⁰ kann man den Fig. 626 abgebildeten Apparat anwenden. Er besteht aus zwei Barometerröhren, welche neben einander in dasselbe Gefäss eingetaucht sind; die erste dieser Röhren bildet ein vollständiges Barometer, in der zweiten befindet sich über dem Quecksilber etwas Wasser, welches zum Theil im leeren Raume verdampft. Diese beiden Röhren werden mittelst eines Eisenstabes in ein hinlänglich tiefes Glasgefäss eingesenkt. Dieses Gefäss ist ganz mit Wasser gefüllt, welches man bis zu jeder beliebigen Temperatur zwischen 0⁰ und 100⁰ erwärmen kann. Die Temperatur dieses Wassers, welche durch zweckmässig angebrachte Thermometer bestimmt wird, ist zugleich die der beiden Barometer und des Wasserdampfs in dem einen. Um die Elasticität des Wasserdampfs zu erhalten, welche jedem Temperaturgrade entspricht, hat man nur zu bestimmen, wie tief der Gipfel der Quecksilbersäule im Dampfbarometer unter dem Gipfel der Quecksilbersäule im anderen Barometer steht. Wenn diese Depression auf 0⁰ reducirt wird, so hat man die wahre Spannkraft des Wasserdampfs. Dies ist das einfache Verfahren, welches Dalton in Manchester im Jahre 1805 anwandte, um die Gesetze der Dämpfe zu studiren, und welches ihm dazu diente, die wahre Theorie ihrer Bildung und ihrer Elasticität zu begründen.

Fig. 626.



Um die Spannkraft der Wasserdämpfe unter 100⁰ zu bestimmen, wandte Schmidt einen anderen Apparat an. Auf das Quecksilber im

Gefäss eines vollkommen fertigen Gefässbarometers, Fig. 627, wurde Wasser gebracht. Das Gefäss war zuvor in eine feine Spitze ausgezogen worden, welche, nachdem das Wasser einige Zeit lang gekocht hatte, zugeschmolzen wurde, so dass man überzeugt sein konnte, alle Luft ausgetrieben zu haben. Ueber dem Wasser im Gefässe befanden sich jetzt nur noch Wasserdämpfe, welche sich beim Erkalten mehr und mehr verdichteten. Je weiter nun diese Verdichtung fortschritt, desto mehr nahm die Spannkraft der Dämpfe ab, desto mehr sank auch die Quecksilbersäule in der Röhre, deren Höhe ursprünglich dem Barometerstande gleich war. Die Differenz im Stande des Quecksilberspiegels in der Röhre und im Gefäss, welche man für eine bestimmte Temperatur des Gefässes beobachtet, giebt unmittelbar die Spannkraft des Wasserdampfs für diese Temperatur. Taucht man z. B. das Gefäss in Wasser von 25⁰, so beobachtet man, dass in diesem Falle das Quecksilber in der Röhre 23 Mm. über dem Quecksilberspiegel im Gefäss steht; die Wasserdämpfe, welche sich also bei 25⁰ bilden, haben eine solche Spannkraft, dass sie eine 23 Mm. hohe Quecksilbersäule tragen können.

Fig. 627.

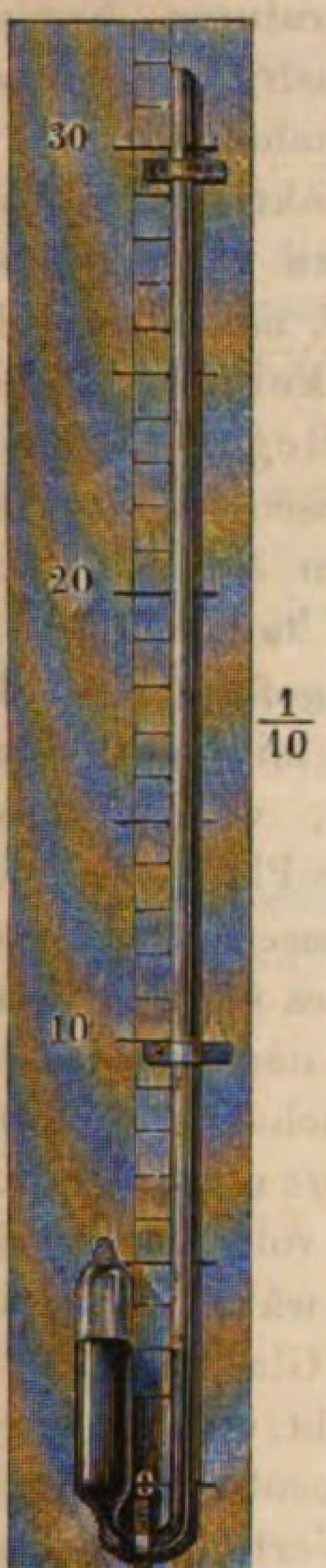
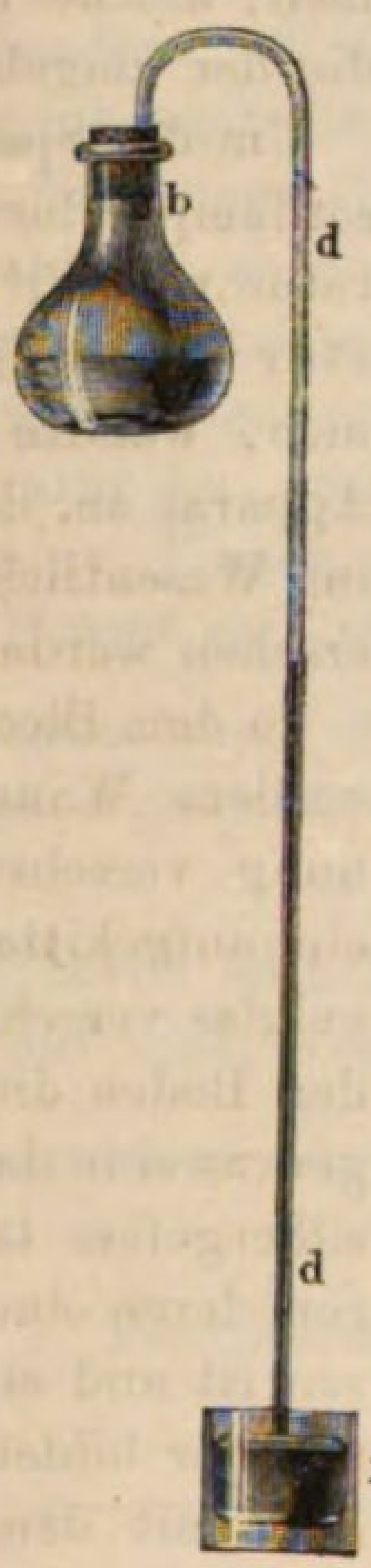


Fig. 628.



Selbst unter 0⁰ haben die Wasserdämpfe noch eine Spannkraft; das Eis verdampft, wie das Wasser. Um die Spannkraft der Dämpfe bei so niedrigen Temperaturen zu messen, kann man den Apparat Fig. 628 anwenden. Das Kölbchen *b*, welches ursprünglich bis über die Hälfte mit Wasser gefüllt war, ist oben durch einen Kork luftdicht geschlossen, in welchem die gekrümmte Röhre *d* steckt. Wird das Wasser in *b* ins Kochen gebracht, so entweichen die Dämpfe durch *d* und nehmen die im Kölbchen befindliche Luft mit, so dass sich nach einiger Zeit ausser dem Wasser nur noch Wasserdämpfe im Kölbchen befinden. Wenn man sicher ist, diesen Punkt erreicht zu haben, wird das bis dahin freie Ende der Röhre *d* in ein Quecksilbergefäss *f* gesteckt. Bei Abkühlung des Kölbchens *b* nimmt die Spannkraft der Wasserdämpfe in demselben ab und das Quecksilber steigt in der Röhre *d* in die Höhe.

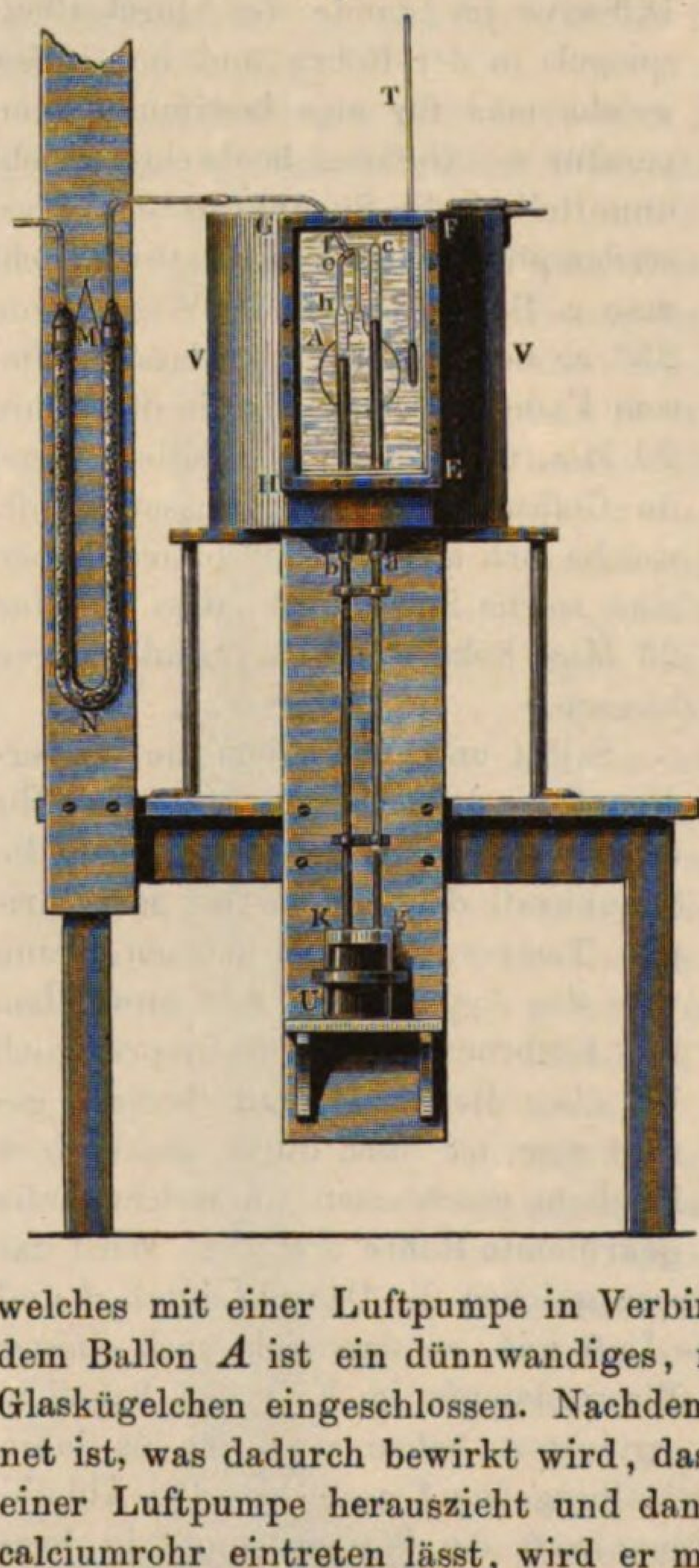
Die einer bestimmten Temperatur entsprechende Spannkraft der Dämpfe erhält man, wenn man die Höhe der Quecksilbersäule in *d* von

der gleichzeitigen Barometerhöhe abzieht. — Um die Spannkraft der Wasserdämpfe bei 0° zu erhalten, wird das Kölbchen *b* mit schmelzendem Schnee, um sie für noch niedrigere Temperaturen zu erhalten, wird es mit Kältemischungen umgeben, deren Temperaturen mit Hülfe des Thermometers zu bestimmen sind.

Wenn es sich darum handelt, genaue Resultate zu erhalten, muss die Röhre genau vertical stehen und die Höhe der Quecksilbersäule mit grosser Genauigkeit gemessen werden.

Mit diesem Apparat kann man überhaupt die Spannkraft der Dämpfe für alle Temperaturen bestimmen, welche niedriger sind als die der umgebenden Luft.

Fig. 629.



Um die Spannkraft der Wasserdämpfe bis zu einer Temperatur von 60° C. mit möglichster Genauigkeit zu bestimmen, wandte Regnault einen Apparat an, dessen Einrichtung im Wesentlichen aus Fig. 629 ersehen werden kann.

In dem Blechgefässe *V* ist die vordere Wand mit einer Oeffnung versehen, welche durch eine aufgekittete Platte von Spiegelglas verschlossen ist. Durch den Boden dieses Gefässes dringen zwei in das nämliche Quecksilbergefäss tauchende Glasröhren, deren eine *gc* oben geschlossen ist und ein vollständiges Barometer bildet, während die andere mit dem Glasballon *A* in Verbindung steht, welcher ungefähr 500 Cubikcentimeter Inhalt hat. Von dem Verbindungsrohre zweigt sich bei *f* ein Rohr ab, welches mit einer Luftpumpe in Verbindung gebracht werden kann. In dem Ballon *A* ist ein dünnwandiges, mit ausgekochtem Wasser gefülltes Glaskügelchen eingeschlossen. Nachdem der Ballon möglichst ausgetrocknet ist, was dadurch bewirkt wird, dass man die Luft mehrmals mittelst einer Luftpumpe herauszieht und dann dieselbe wieder durch ein Chlorcalciumrohr eintreten lässt, wird er möglichst luftleer gemacht und endlich die Verbindungsröhre zwischen *f* und der Luftpumpe mittelst des Löthrohres zugeschmolzen. Die geringe Spannkraft der im Ballon *A* noch übrigen Luft ergiebt sich aus der Differenz der Höhe der Quecksilber-

kuppen in den beiden Röhren, welche mittelst eines Kathetometers abgelesen wird.

Das in *A* enthaltene Glaskügelchen wird nun durch glühende Kohlen gesprengt, welche man von aussen dem Ballon nähert. Sogleich füllt sich der Ballon und die Kammer des zugehörigen Barometers mit Dämpfen, welche die Quecksilberkuppe je nach der Temperatur mehr oder weniger deprimiren. Die Temperatur, welche im Gefäss *V* herrscht und welche auch die Temperatur des Wasserdampfes in *A* ist, wird an dem Thermometer *T* abgelesen.

Um Beobachtungen bei Wärmegraden anzustellen, welche die Temperatur der umgebenden Luft übersteigen, wird das Gefäss *V* mit Wasser gefüllt und dasselbe mittelst einer untergesetzten Weingeistlampe erwärmt. Für eine bestimmte Grösse der Flamme steigt nun die Temperatur des Wassers bis zu einem Grade, auf dem dann das Wasser und der Apparat längere Zeit stehen bleiben, und bei welcher man dann die Ablesungen des Thermometers und der beiden Barometer vornimmt; damit jedoch die Temperatur im ganzen Raume gehörig gleichförmig sei, so dass das Thermometer *T* auch die Temperatur des Wasserdampfs in *A* angiebt, muss das Wasser in *V* in beständiger Bewegung gehalten werden.

Für Temperaturen unter 0⁰ wird das Gefäss *V* entfernt und der Ballon *C* in ein Becken gesenkt, welches eine entsprechende Kältemischung enthält.

Die folgende Tabelle enthält einige der zahlreichen Beobachtungen, welche **Regnault** auf diese Weise angestellt hat.

Temperatur.	Spannkraft des Wasserdampfs.
— 32,84⁰ C.	0,28mm
— 12,53	1,61
0,00	4,54
20,51	17,81
*42,61	63,22
58,62	139,05

Messung der Spannkraft der Wasserdämpfe für Temperaturen oberhalb des Siedepunktes. 222 Um die Spannkraft der Wasserdämpfe für Temperaturen über 100⁰ zu messen, kann man einen Apparat, Fig. 630 (a. f. S.), anwenden, welcher sich von dem Apparat Fig. 627 nur dadurch unterscheidet, dass die längere Röhre oben offen ist, dass

also die Atmosphäre auf das Quecksilber in der Röhre wirken kann. Wenn vor dem Zuschmelzen des Gefässes der längere Schenkel offen ist, so stellt sich das Quecksilber im Gefäss und in der Röhre gleich hoch. Man hat nach dem Zuschmelzen der Spitze des Gefässes und nach dem Erkalten über dem Quecksilber im Gefäss nur Wasser, welches erst Dämpfe bilden kann bei Temperaturen, für welche ihre Spannkraft grösser ist, als der Druck einer Atmosphäre. Bringt man das Gefäss in Oel, dessen Temperatur mehr als 100⁰ beträgt, so bilden sich die Wasserdämpfe, welche auf das Quecksilber im Gefäss drücken und es im langen Rohre steigen machen. Die Differenz der Quecksilberspiegel im Gefäss und der Röhre giebt an, um wie viel die Spannkraft der Dämpfe grösser ist als ein Atmosphärendruck.

Um die Röhre vor dem Zerbrechen zu schützen und zugleich die Höhe der gehobenen Quecksilbersäule messen zu können, ist der Apparat Fig. 630 auf einem getheilten Brett zu befestigen. Wenn die offene Röhre lang genug ist, kann man mit dieser Vorrichtung die Tension der Wasserdämpfe bis zu 3 bis 4 Atmosphären messen.

Fig. 630.



Fig. 631.



Statt eines sehr langen Rohres kann man auch ein kürzeres anwenden, welches mit Luft gefüllt und oben verschlossen ist, Fig. 631. Dieser Apparat wird in folgender Weise hergestellt. Das Gefäss sowohl als auch das etwas über 1 Meter lange Rohr sind oben ursprünglich in feine Spitzen ausgezogen, durch welche ihr Inneres mit der äusseren Luft communicirt. Wird Quecksilber eingegossen, so stellt es sich gleich hoch im Gefäss und im Rohr. Auf das Quecksilber im Gefäss wird nun Wasser eingefüllt und dieses so lange im Kochen erhalten bis man überzeugt sein kann, dass alle Luft aus dem Gefäss ausgetrieben ist. Ist dies erreicht, so werden gleichzeitig die Spitzen des Gefässes und des Rohres zugeschmolzen, so dass sich über dem Quecksilber im Gefässe nur Wasserdämpfe, über dem Quecksilber im Rohre aber Luft von der Dichtigkeit der Atmosphäre befindet.

Wird nun das Gefäss über 100⁰ erwärmt, so werden die gebildeten Wasserdämpfe das Quecksilber im Rohre in die Höhe treiben, wodurch die Luft in demselben comprimirt ist. Die Spannkraft der Dämpfe ist dann gleich dem Druck, welchen die comprimirte Luft im Rohre auf den Gipfel der gehobenen Quecksilbersäule ausübt, + dem Druck der Quecksilbersäule im Rohr.

Es stehe zum Beispiel für einen bestimmten Erwärmungsgrad des

Gefässes der Gipfel der Quecksilbersäule im Rohr um 63 Centimeter über dem Niveau des Quecksilbers im Gefäss und es sei dadurch die Luft im Rohr auf $^1/_3$ ihres ursprünglichen Volumens comprimirt, so ist die Spannkraft der Dämpfe im Gefäss

$$3 . 76 + 63 = 228 + 63 = 291 \text{ Centimeter,}$$

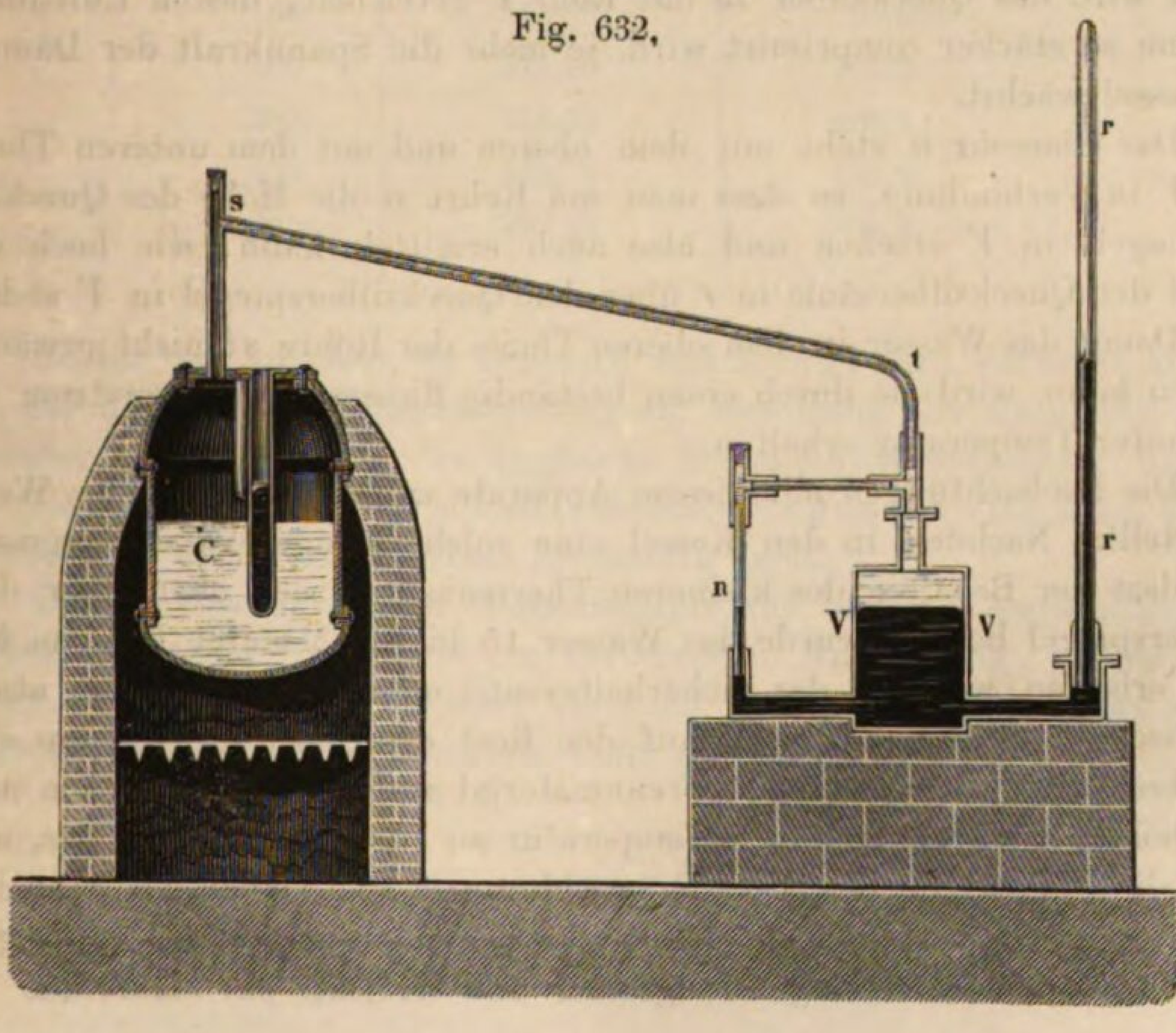
wenn der Barometerstand für den Moment, in welchem die Spitze des Rohres zugeschmolzen wurde, gerade 76 Centimeter betrug.

Die in Fig. 630 und Fig. 631 dargestellten Apparate kann man mit dem gemeinschaftlichen Namen der Dampfbarometer bezeichnen. Solche Dampfbarometer sind nun freilich mehr zu Vorlesungsversuchen als zur Erlangung genauer Resultate geeignet.

Solche Dampfbarometer hat man auch angewendet, um die Spannkraft der Dämpfe von Weingeist, Schwefelkohlenstoff, Aether u. s. w. zu bestimmen.

Wenn es sich um sehr genaue Resultate handelt, so hat man, namentlich bei grösseren Spannkräften, grosse Schwierigkeiten zu überwinden. Die Wissenschaft besass über diesen Punkt nur unzuverlässige Thatsachen, als Arago und Dulong von der französischen Akademie der Wissenschaft beauftragt wurden, die Elasticität der Wasserdämpfe bis zum höchsten Druck genau zu ermitteln, welcher noch bei industriellen Anwendungen vorkommen kann. Diese grosse Arbeit wurde im Jahre 1830 vollendet. Die Bestätigung des Mariotte'schen Gesetzes bis zu einem Drucke von 27 Atmosphären war nur eine Vorarbeit zu dieser wichtigen Untersuchung. (Pogg. Annal. XVIII. Band.)

Fig. 632.



Der Apparat, dessen sie sich bedienten, ist im Wesentlichen Fig. 632 (a. v. S.) abgebildet. Der Dampf wurde in einem starken Dampfkessel von Eisenblech erzeugt, welcher ungefähr ein Volumen von 80 Litern hatte.

Hätte man die Thermometer, welche zur Messung der Temperaturen dienen sollten, unmittelbar in den Dampfkessel gebracht, so wäre zu befürchten gewesen, dass der Druck der Dämpfe das Gefäss der Thermometer comprimirt hätte, und dass in Folge dessen das Quecksilber in den Thermometerröhren höher gestiegen wäre, als es der Temperaturerhöhung entspricht. Um dies zu vermeiden, waren zwei eiserne Röhren in den Deckel eingelassen, welche, oben offen und unten verschlossen, mit Quecksilber gefüllt waren. Die eine dieser Röhren ragte bis in das Wasser des Kessels herab, die andere nicht ganz bis auf den Wasserspiegel, so dass das Quecksilber in dem einen Rohre die Temperatur des Wassers, im anderen die des Dampfes hatte. In jedes Rohr war nun ein Thermometer eingesenkt.

Um die Spannkraft der Dämpfe zu messen, wurde dieselbe Manometerröhre angewandt, welche zuvor gedient hatte, um das Mariotte'sche Gesetz bis auf 27 Atmosphären zu prüfen. Diese Röhre *r*, welche von einer weiteren in unserer Zeichnung weggelassenen Glasröhre umgeben ist, um durch einen beständigen Wasserstrom die Temperatur in *r* unverändert erhalten zu können, steht unten mit dem Quecksilbergefäss *V* in Verbindung. Der Raum über dem Quecksilber in *V*, sowie auch das ganze Rohr *ts* ist mit Wasser gefüllt. Der Dampf im Kessel drückt nun gegen das obere Ende der Wassersäule in *st*, und durch diesen Druck wird das Quecksilber in das Rohr *r* getrieben, dessen Luftinhalt also um so stärker comprimirt wird, je mehr die Spannkraft der Dämpfe im Kessel wächst.

Das Glasrohr *n* steht mit dem oberen und mit dem unteren Theile von *V* in Verbindung, so dass man am Rohre *n* die Höhe des Quecksilberspiegels in *V* ersehen und also auch ermitteln kann, wie hoch der Gipfel der Quecksilbersäule in *r* über dem Quecksilberspiegel in *V* steht.

Damit das Wasser in dem oberen Theile der Röhre *st* nicht erwärmt werden kann, wird sie durch einen beständig fliessenden Wasserstrom auf constanter Temperatur erhalten.

Die Beobachtungen mit diesem Apparate wurden in folgender Weise angestellt. Nachdem in den Kessel eine solche Menge Wasser gegossen war, dass der Behälter des kleineren Thermometers sich eben über dem Wasserspiegel befand, wurde das Wasser 15 bis 20 Minuten lang im Kochen erhalten, während das Sicherheitsventil offen blieb, um alle atmosphärische Luft auszutreiben. Auf den Rost des Ofens wurde dann eine grössere oder kleinere Menge Brennmaterial aufgelegt, je nachdem man eine höhere oder weniger hohe Temperatur zu erhalten beabsichtigte, und nun alle Oeffnungen des Kessels geschlossen. Die beiden Thermometer und die Quecksilbersäule im Manometer begannen nun rasch zu steigen, bald aber wurde das Steigen langsamer und erreichte ein Maximum. In

dem Moment dieses Maximums wurde der Stand der Thermometer von einem Beobachter, der Stand des Manometers aber von einem anderen notirt. Auf diese Weise wurden 30 Beobachtungen gemacht; die niedrigste Temperatur war 123,7° und die entsprechende beobachtete Spannkraft des Dampfes war 2,14 Atmosphären, die höchste Temperatur war 223,15° und die entsprechende Spannkraft 23,994 Atmosphären.

Nach einer empirischen Formel, von welcher alsbald die Rede sein wird, ergeben sich aus diesen Versuchen die zusammengehörigen Werthe der Spannkraft des Wasserdampfes und der Temperatur, wie sie in der folgenden Tabelle angegeben sind.

Spannkraft in Atmosph.	Entsprechende Temperaturen.	Druck auf 1 Quadrat-Centimeter in Kilogr.
1	100	1,033
2	121,4	2,066
4	145,4	4,106
8	172,1	8,264
16	203,60	16,528
25	226,3	25,825
50	265,89	51,650
100	311,36	103,3
200	363,58	206,6
400	423,57	413,2
800	492,47	826,4

Leider war zur Zeit, da Dulong und Arago ihre Versuche anstellten, der Einfluss der Glasausdehnung auf den Gang der Quecksilberthermometer und namentlich das ungleiche Verhalten verschiedener Glassorten noch nicht gehörig ermittelt, weshalb Regnault eine neue Untersuchung des Spannkraftgesetzes für nöthig hielt.

Um die Spannkraft der Wasserdämpfe für höhere Temperaturen zu ermitteln, brachte Regnault ein Verfahren in Anwendung, welches erst später besprochen werden kann; vorläufig mögen aber hier einige seiner zahlreichen Beobachtungsresultate Platz finden.

Temperatur.	Spannkraft des Wasserdampfs.	Temperatur.	Spannkraft des Wasserdampfs.
* 76,49° C.	306,71mm	185,67° C.	8572,42mm
* 99,92	757,90	*194,42	10344,27
*125,71	1778,95	212,20	14868,18
153,90	3944,86	230,50	21127,00
*167,40	5554,83		

Die in dieser Tabelle angegebenen Temperaturen sind die durch das Luftthermometer gemessenen.

Eine vollständige Zusammenstellung sämmtlicher Arbeiten Regnault's über den Wasserdampf und die damit zusammenhängenden Materien findet man in den Mémoires de l'academie royale des sciences de l'Institut de France, Tome XXI, 1847.

Auch Magnus hat eine sehr genaue Versuchsreihe über die Spannkraft des Wasserdampfs innerhalb der Temperaturen — 20 und + 110° C. angestellt, deren Resultate mit den Regnault'schen sehr gut harmoniren (Pogg. Ann. Bd. LXI).

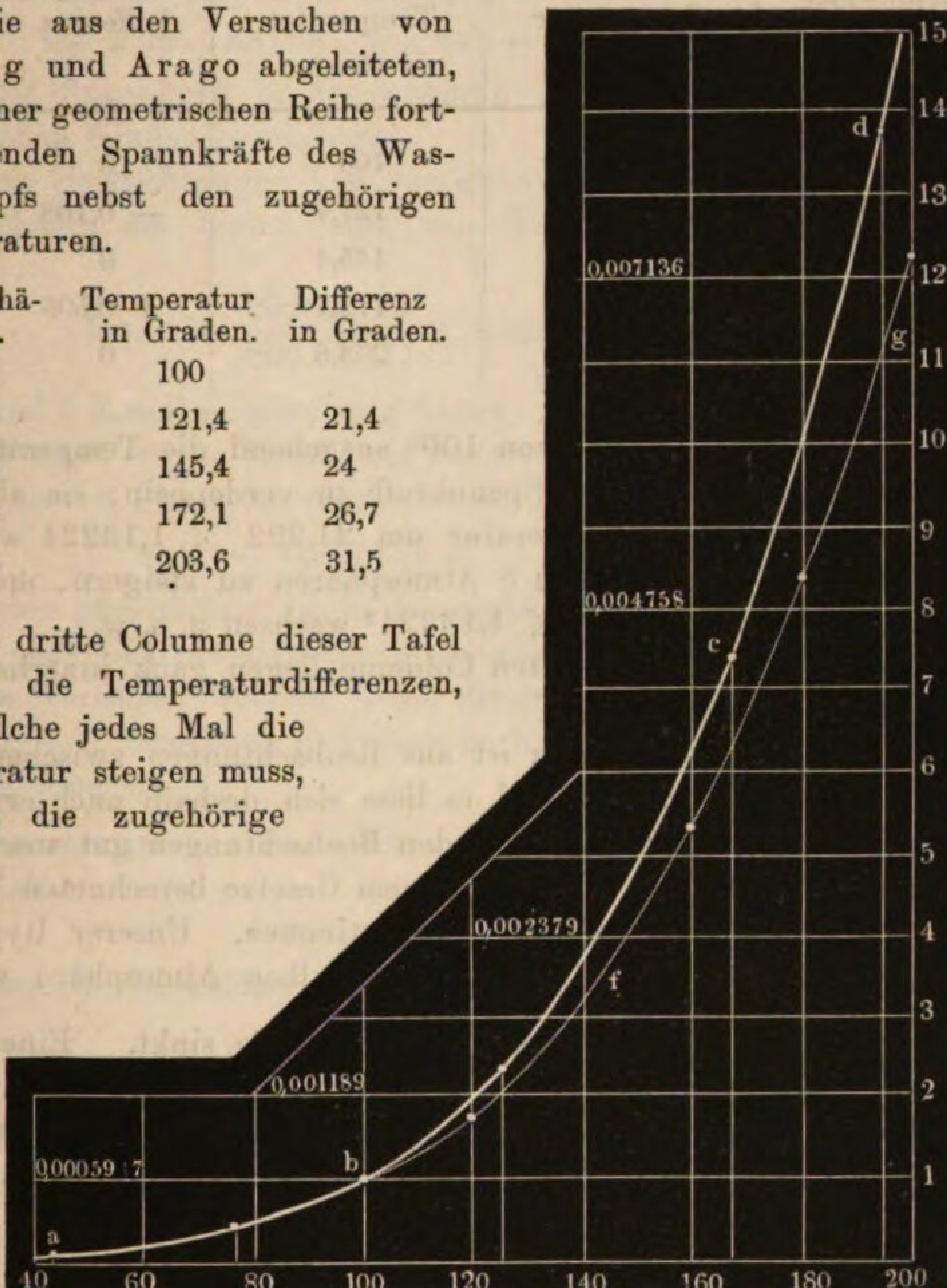
223 **Graphische und algebraische Darstellung des Spannkraftgesetzes.** Um den Zusammenhang zwischen Temperatur und Spannkraft zu übersehen und die Spannkraft des Wasserdampfs auch für solche Temperaturen zu bestimmen, welche zwischen den Beobachtungstemperaturen liegen, kann man zunächst eine graphische Darstellung anwenden, wie dies in Fig. 633 durch die stark gezogene Curve geschehen ist, wo die Temperaturen als Abscissen, die entsprechenden Spannkräfte als Ordinaten aufgetragen sind. Der Maassstab der Abscissen ist so gewählt, dass eine Länge von 10 Millimetern 20 Grad repräsentirt; bei den Ordinaten entspricht aber eine Länge von 10 Millimetern einer Spannkraft, welche dem Drucke einer Quecksilbersäule von 1000 Millimetern Höhe gleich ist. Die Curve ist über diejenigen Punkte gelegt, welche den durch ein Sternchen bezeichneten Beobachtungen der letzten und der Tabelle auf Seite 697 entsprechen. Die Höhendifferenz zwischen je zwei Horizontallinien unserer Figur entspricht einer Spannkraftdifferenz von einer Atmosphäre.

Um genaue Resultate zu erzielen, ist freilich der Maassstab dieser Figur viel zu klein; Regnault hat seiner Abhandlung solche Spannkraftcurven in sehr grossem Maassstabe beigefügt.

Um aber auch durch Rechnung die Spannkraft des Wasserdampfs für solche Temperaturen bestimmen zu können, welche zwischen den Beobachtungstemperaturen liegen, sind schon über 30 empirische Formeln aufgestellt worden, welche sich bald mit grösserer, bald mit geringerer

Genauigkeit den Beobachtungen anschliessen. Eine ziemlich einfache Beziehung ergiebt sich aus folgender Betrachtung:

Fig. 633.



Die folgende kleine Tabelle enthält die aus den Versuchen von Dulong und Arago abgeleiteten, nach einer geometrischen Reihe fortschreitenden Spannkräfte des Wasserdampfs nebst den zugehörigen Temperaturen.

Atmosphären.	Temperatur in Graden.	Differenz in Graden.
1	100	
2	121,4	21,4
4	145,4	24
8	172,1	26,7
16	203,6	31,5

Die dritte Columne dieser Tafel enthält die Temperaturdifferenzen, um welche jedes Mal die Temperatur steigen muss, damit die zugehörige Tension der Wasserdämpfe verdoppelt wird. Die Zahlen dieser Columne sind nun sehr nahe Glieder einer geometrischen Reihe, denn die Quotienten je zweier auf einander folgender sind fast gleich; durch sehr unbedeutende Correctionen lässt sich wirklich eine geometrische Reihe aus ihnen bilden. Nehmen wir die Temperaturen 100^0, $145{,}4^0$, $203{,}6^0$, zu welchen die Spannkräfte 1, 4 und 16 Atmosphären gehören, als absolut genau an, so ist es leicht, die Temperaturen, welche den Spannkräften 2 und 8 Atmosphären entsprechen, so zu berechnen, dass die jedesmaligen Temperaturdifferenzen eine geometrische Reihe bilden. Dieser Bedingung

leisten die in der zweiten Columne der folgenden Tafel enthaltenen berechneten Temperaturen Genüge.

Atmosphären.	Berechnete Temperatur in Graden.	Beobachtete Temperatur in Graden.	Differenz.
1	100	100	0
2	121,292	121,4	— 0,108
4	145,4	145,4	0
8	172,695	172,1	+ 0,595
16	203,6	203,6	0

Wir nehmen also an, dass von 100° ausgehend die Temperatur um 21,292° wachsen müsse, um die Spannkraft zu verdoppeln; sie abermals zu verdoppeln, muss die Temperatur um $21,292 \times 1,13224$ wachsen. Um die Spannkraft von 4 bis zu 8 Atmosphären zu steigern, muss die Temperatur wieder um $21,292 \times 1,13224^2$ wachsen u. s. w.

Die Differenzen in der letzten Columne liegen ganz innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler.

Das eben betrachtete Gesetz ist aus Beobachtungen zwischen 100° und 203,6° abgeleitet worden, und es liess sich deshalb auch erwarten, dass es innerhalb dieser Grenzen sich den Beobachtungen gut anschliesse. Es fragt sich nun aber, wie die nach diesem Gesetze berechneten Werthe unter 100° mit der Beobachtung übereinstimmen. Unserer Hypothese zufolge muss die Spannkraft gleich einer halben Atmosphäre werden, wenn die Temperatur von 100° um $\frac{21,292}{1,13224}$ Grade sinkt. Eine abermalige Temperaturerniedrigung um $\frac{21,292}{1,13224^2}$ Grad muss die Spannkraft auf $^1/_4$ Atmosphäre reduciren u. s. w. Auf diese Weise sind die Temperaturen der folgenden Tabelle berechnet, welche der Spannkraft $^1/_2$, $^1/_4$, $^1/_8$ u. s. w. Atmosphäre entsprechen.

Temperatur.	Spannkraft		Spannkraft nach Regnault.	Differenz.
	in Atmosph.	in Millim.		
81,19	$^1/_2$	380	379	+ 1
64,58	$^1/_4$	190	195	— 5
49,91	$^1/_8$	95	102	— 7
36,96	$^1/_{16}$	47,5	49,6	— 2,1
25,54	$^1/_{32}$	23,75	27,3	— 3,5

Man sieht aus dieser Tabelle, dass unsere Hypothese ziemlich gut mit den Werthen übereinstimmt, welche Regnault für die entsprechenden Temperaturen gefunden hat.

Aus unserer Hypothese ergiebt sich folgende Formel:

$$log.\ e = 5{,}58188\ .\ log.\ [1 + 0{,}0062108\ (t - 100)],$$

wo e die Spannkraft in Atmosphären und t die Temperatur nach Celsius'schen Graden bezeichnet.

Den Beobachtungen von Arago und Dulong entspricht bis zu 4 Atmosphären am besten eine von Tredgold aufgestellte empirische Formel:

$$log.\ e = \frac{23{,}94571\ t}{800 + 3t}\ 2{,}2960383,$$

wo e und t dieselbe Bedeutung haben, wie in der vorigen Formel; nach dieser Formel ist die Tabelle auf Seite 701 bis zu 4 Atmosphären berechnet. Ueber 4 Atmosphären stimmt die Formel

$$e = \{1 + 0{,}007153\ (t - 100)\}^5,$$

in welcher gleichfalls e die in Atmosphären ausgedrückte Spannkraft und t die nach Centesimalgraden gemessene Temperatur bezeichnet, besser mit den Versuchen überein. Nach dieser Formel ist der Rest der Tabelle auf Seite 701 berechnet, und zwar noch weit über die Gränzen der Beobachtung hinaus.

Den sämmtlichen Beobachtungen Regnault's schliesst sich die Exponentialformel

$$log.\ e = a - b\,\alpha^x - c\,\beta^x$$

am besten an, in welcher

$$x = t + 20^0$$

zu setzen ist. Zur Bestimmung der fünf in dieser Formel vorkommenden Constanten wählte er folgende den Beobachtungen entnommenen zusammengehörigen Werthe von t und e:

$$t_1 = -\ 20^0 \qquad e_1 = 0{,}91^{mm}$$
$$t_2 = +\ 40 \qquad e_2 = 54{,}91$$
$$t_3 = 100 \qquad e_3 = 760{,}00$$
$$t_4 = 160 \qquad e_4 = 4651{,}60$$
$$t_5 = 220 \qquad e_5 = 17390{,}00$$

woraus sich ergiebt

$$log.\ \alpha = \bar{1}{,}9940493$$
$$log.\ \beta = \bar{1}{,}9983438$$
$$log.\ b = 0{,}1397743$$
$$log.\ c = 0{,}6924351$$
$$a = 6{,}2640348,$$

nach dieser Formel ist nun die folgende Tabelle berechnet worden.

Temperatur. t	Spannkraft in Millimetern. p	Druck auf ein Quadr.-Cent. in Kilogr.	Temperatur. t	Spannkraft in Millimetern. p	Druck auf ein Quadr.-Cent. in Kilogr.
— 32°	0,320	0,00043	+ 40°	54,906	0,07465
— 30	0,386	0,00052	45	71,391	0,09706
— 25	0,605	0,00082	50	91,982	0,12505
— 20	0,927	0,00126	55	117,478	0,15972
— 15	1,400	0,00190	60	148,791	0,20323
— 10	2,093	0,00285	65	186,945	0,25417
— 5	3,113	0,00423	70	233,093	0,31692
0	4,600	0,00625	75	288,517	0,39227
+ 1	4,940	0,00671	80	354,643	0,48217
2	5,302	0,00721	85	433,041	0,58877
3	5,687	0,00773	90	525,450	0,71440
4	6,097	0,00829	95	633,778	0,86168
5	6,534	0,00888	100	760,000	1,03330
6	6,998	0,00951	105	906,410	1,23236
7	7,492	0,01019	110	1075,370	1,4621
8	8,017	0,01090	115	1269,410	1,7259
9	8,574	0,01166	120	1491,280	2,02755
10	9,165	0,01246	125	1743,88	2,37098
11	9,792	0,01331	130	2030,28	2,76037
12	10,457	0,01422	135	2353,73	3,20013
13	11,162	0,01518	140	2717,63	3,69490
14	11,908	0,01619	145	3125,55	4,24950
15	12,699	0,01727	150	3581,23	4,86904
16	13,536	0,01840	155	4088,56	5,55881
17	14,421	0,01961	160	4651,62	6,32434
18	15,357	0,02088	165	5274,54	7,17127
19	16,346	0,02222	170	5961,66	8,10547
20	17,391	0,02365	175	6717,43	9,13302
21	18,495	0,02515	180	7546,39	10,2601
22	19,659	0,02673	185	8453,23	11,4930
23	20,888	0,02840	190	9442,70	12,8383
24	22,184	0,03016	195	10519,63	14,3025
25	23,550	0,03202	200	11688,96	15,8923
26	24,988	0,03397	205	12955,66	17,6145
27	26,505	0,03604	210	14324,80	19,4760
28	28,101	0,03821	215	15801,33	21,4835
29	29,782	0,04049	220	17390,00	23,6439
30	31,548	0,04289	225	19097,04	25,9643
35	41,827	0,05687	230	20926,40	28,4515

Spannkraft der Dämpfe verschiedener Flüssigkeiten. 224
Nach den oben besprochenen Methoden lässt sich nun auch die Spannkraft der Dämpfe anderer Flüssigkeiten, z. B. des Weingeistes, des Aethers u. s. w. bestimmen; solche Versuche sind schon früher von Ure, Schmidt, Munke, Marx u. A. gemacht worden, sehr genaue Versuchsreihen der Art hat aber in neuerer Zeit Regnault angestellt (Pogg. Annal. Bd. XCIII), deren Resultate man in der folgenden Tabelle findet.

Temperatur.	Alkohol.	Aether.	Schwefelkohlenstoff.	Chloroform.	Terpentinöl.
— 21°	3,12	—	—	—	—
— 20	3,34	69,2	—	—	—
— 16	—	—	58,8	—	—
— 10	6,50	113,2	79,0	—	—
0	12,73	182,3	127,3	—	2,1
+ 10	24,08	286,5	199,3	130,4	2,3
20	44,0	434,8	298,2	190,2	4,3
30	78,4	637,0	434,6	276,1	7,0
40	134,1	913,6	617,5	364,0	11,2
50	220,3	1268,0	852,7	524,3	17,2
60	350,0	1730,3	1162,6	738,0	26,9
70	539,2	2309,5	1549,0	976,2	41,9
80	812,8	2947,2	2030,5	1367,8	61,2
90	1190,4	3899,0	2623,1	1811,5	91,0
100	1685,0	4920,4	3321,3	2354,6	134,9
110	2351,8	6249,0	4136,3	3020,4	187,3
116	—	7076,2	—	—	—
120	3207,8	—	5121,6	3818,0	257,0
130	4331,2	—	6260,6	4721,0	347,0
136	—	—	7029,2	—	—
140	5637,7	—	—	—	462,3
150	7257,8	—	—	—	604,5
152	7617,3	—	—	—	—
160	—	—	—	—	777,2
180	—	—	—	—	1225,0
200	—	—	—	—	1865,6
222	—	—	—	—	2778,5

Aus dieser Tabelle ergeben sich die Temperaturen, bei welchen die Spannkraft des gesättigten Dampfes von Alkohol, Schwefelkohlenstoff und Aether gleich 1, 2, 3 u. s. w. Atmosphären ist, wie folgt:

Atmosphären.	Alkohol.	Schwefelkohlenstoff.	Aether.
1	77,5	46,7	35,0
2	97,5	68,8	55,7
3	107,0	83,8	70,0
4	—	96,2	80,5
5	—	105,0	89,0
6	—	—	96,2

Die Spannkraft des Dampfes, welcher sich aus irgend einer kochenden Flüssigkeit bildet, ist immer dem Drucke gleich, welcher auf der Oberfläche der Dampfblasen lastet; denn der Dampf im Inneren der Blase hält ja diesem Drucke gerade das Gleichgewicht.

Mit dem Namen des normalen Siedepunktes einer Flüssigkeit bezeichnet man die Temperatur, bei welcher dieselbe unter dem mittleren Atmosphärendruck (28 Zoll oder 760 Millimeter Barometerstand) kocht. Bei dieser Temperatur ist die Spannkraft des Dampfes in den Blasen gerade gleich dem Atmosphärendruck, wenn man das Gewicht der Flüssigkeitssäule, welche sich noch über der Blase befindet, vernachlässigen kann. Für die Temperatur ihres normalen Siedepunktes ist also die Spannkraft der Dämpfe aller Flüssigkeiten einander gleich und zwar gleich einem Atmosphärendruck. Dalton glaubte nun, dass für eine gleiche Anzahl Grade über oder unter dem Siedepunkte die Spannkräfte noch immer gleich seien. Nach dem Dalton'schen Gesetze wäre es also nur nöthig, die Tafel für die Spannkraft des gesättigten Wasserdampfes zu haben und den Siedepunkt einer Flüssigkeit zu kennen, um die Spannkraft ihrer Dämpfe für alle Temperaturen zu ermitteln. Der Siedepunkt des Alkohols z. B. ist 78^0; die Spannkraft des Alkoholdampfes bei 110^0, also 32^0 über dem Siedepunkt, müsste demnach gleich sein der Spannkraft des Wasserdampfes bei 132^0, welche der Tabelle auf Seite 706 zufolge 2129^{mm} ist. Regnault's Versuche zeigen aber, dass die Spannkraft des Alkoholdampfes bei 110^0 schon 2352^{mm} beträgt, also 223^{mm} grösser ist, als man nach dem Dalton'schen Gesetze erwarten sollte, welches also nur als eine erste rohe Annäherung betrachtet werden kann.

Ueber die Spannkraft einiger condensirten Gase hat Bunsen Versuche angestellt, deren Resultate in folgender Tabelle enthalten sind.

Temperatur.	Schweflige Säure.	Cyangas.	Ammoniak.
— 37	—	—	749mm
— 20	—	800mm	—
— 15	—	1100	—
— 10	780mm	1410	—
— 5	1110	1730	3040
0	1480	2070	3610
+ 5	1910	2440	4260
10	2390	2880	4980
15	2930	3330	5780
20	3540	3800	6674
25	4200	—	—

Daraus ergeben sich die Temperaturen, für welche die Spannkraft der gesättigten Dämpfe der schwefligen Säure, des Cyangases und des Ammoniaks gleich 1, 2 . . . 6 Atmosphären sind, ungefähr wie in folgender Tabelle angegeben ist.

Atmosphären.	Schweflige Säure.	Cyangas.	Ammoniak.
1	— 10,75°	— 21,75	— 36,8
2	+ 0,60	— 8,00	— 25,0
3	+ 8,75	+ 2,50	— 14,5
4	+ 16,00	+ 11,50	— 5,0
5	+ 22,10	+ 20,00	+ 1,5
6	—	—	+ 6,5

Für ölbildendes Gas, Stickstoffoxydulgas und Kohlensäure fand Faraday für das verschiedenen Temperaturen entsprechende Maximum der Spannkraft die in folgender Tabelle zusammengestellten Werthe (Pogg. Annal. Ergänzungsband II, 1848).

Temperatur.	Oelbildendes Gas.	Stickstoffoxydul.	Kohlensäure.
— 87,2°C.	—	1,00 Atm.	
— 78,9	—	—	1,17
— 76,1	4,60 Atm.	1,55	—
— 62,2	6,32	3,11	3,93
— 51,1	9,14	5,36	6,97
— 40,0	13,46	8,71	11,07
— 28,9	19,38	13,32	16,30
— 23,3	22,94	16,15	19,38
— 17,7	26,90	19,34	22,84
— 12,2	—	22,89	26,82
— 6,6	—	26,80	30,65
0,0	—	—	38,50
+ 1,6	—	33,40	—

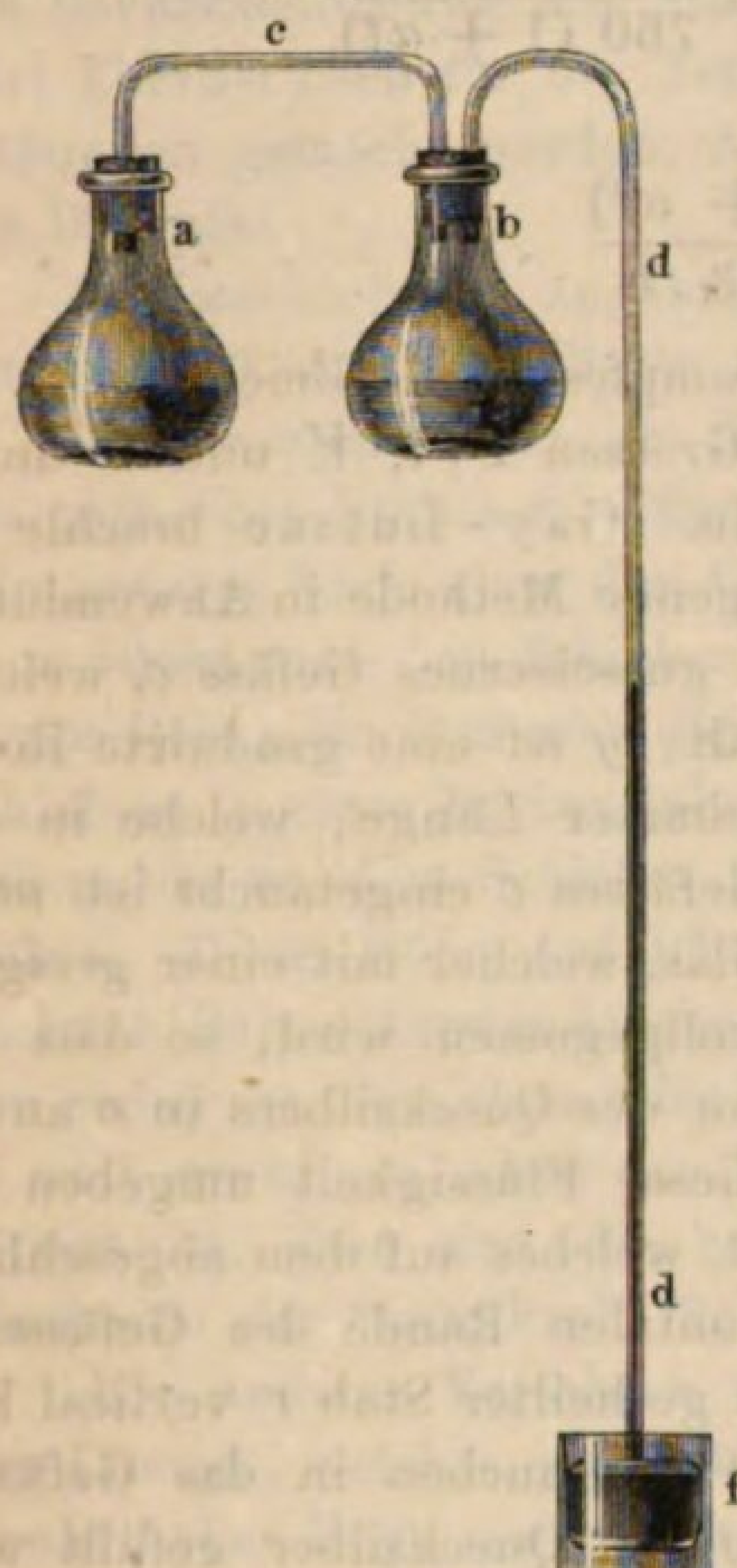
Wegen des äusserst hohen Siedepunktes des Quecksilbers ist die Spannkraft seiner Dämpfe bei gewöhnlicher Temperatur äusserst gering; bei 25° C. beträgt sie kaum $^1/_5$ Millimeter, bei 100° C. nur ungefähr $^1/_2$ Millimeter.

225 **Gleichgewicht der Spannkraft in ungleich erwärmten mit einander verbundenen Räumen.** Nach den Bedingungen des Gleichgewichts gasförmiger Körper muss der Dampf in allen mit einander verbundenen Räumen gleiche Tension haben, und da an den kälteren Stellen die Spannkraft des Dampfes nicht so gross sein kann als an den wärmeren, so ist klar, dass in allen mit einander verbundenen Räumen die Spannkraft des Dampfes dieselbe sein muss, wie an der kälteren Stelle, dass also an den wärmeren Stellen der Dampf nicht das Maximum der Spannkraft erreichen kann, welches dieser höheren Temperatur zukommt.

Die Richtigkeit dieses Satzes lässt sich mit Hülfe des Apparates Fig. 634 nachweisen. Zwei Glaskölbchen *a* und *b*, welche beide etwas Aether enthalten, sind durch eine Röhre *c* verbunden; durch den Kork, welcher *b* verschliesst, geht eine zweite abwärts gebogene Röhre *d*.

Wenn man den Aether in a und b ins Kochen bringt (es geschieht am besten dadurch, dass man sie in heisses Wasser taucht), so entweichen die Dämpfe durch die Röhre d und nehmen die Luft aus dem Apparate mit fort. Ist das erreicht, so taucht man das untere Ende der Röhre d in ein Gefäss mit Quecksilber und entfernt die Wärmequellen, welche den Aether ins Kochen gebracht hatten. Alsbald wird a und b bis auf die Temperatur der umgebenden Luft erkaltet sein, die Spannkraft der Dämpfe im Apparate nimmt dabei bis zu einer bestimmten Gränze ab, und das Quecksilber steigt demnach in der Röhre d bis zu einer bestimmten Höhe, welche von der Temperatur der umgebenden Luft abhängt. Taucht man nun die eine Kugel, etwa a, in Schnee oder in eine Kältemischung, so steigt das Quecksilber in d alsbald eben so hoch, als ob beide Kugeln dieselbe Erkaltung erfahren hätten.

Fig. 634.



Specifisches Gewicht der Dämpfe. Wie für andere Körper, so findet man auch für Dämpfe das specifische Gewicht nach der Gleichung: 226

$$S = \frac{P}{V} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

wenn S das specifische Gewicht des Dampfes (das specifische Gewicht des Wassers = 1 gesetzt) und P das in Grammen ausgedrückte Gewicht einer Dampfmasse bezeichnet, welche den (nach Cubikcentimetern gemessenen) Raum V einnimmt.

Will man das specifische Gewicht des Dampfes mit dem der atmosphärischen Luft vergleichen, so hat man das Gewicht P des Dampfes zu dividiren durch das Gewicht p eines gleichen Luftvolumens, welches bei gleicher Temperatur die gleiche Spannkraft hat wie der Dampf; wir haben also für das auf atmosphärische Luft bezogene specifische Gewicht des Dampfes (§. 213)

$$s = \frac{P}{p} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

Unter einem Barometerstande von 760^{mm} und bei einer Temperatur von 0^0 wiegt 1 Cubikcentimeter Luft 0,001293 Gramm, folglich wiegt

die Luft, welche unter dem Druck b und bei einer Temperatur von t^0 C. das Volumen V füllt (nach Gleichung 3 Seite 671)

$$p = V\, 0{,}001293 \,.\, \frac{b}{760\,(1 + \alpha t)}$$

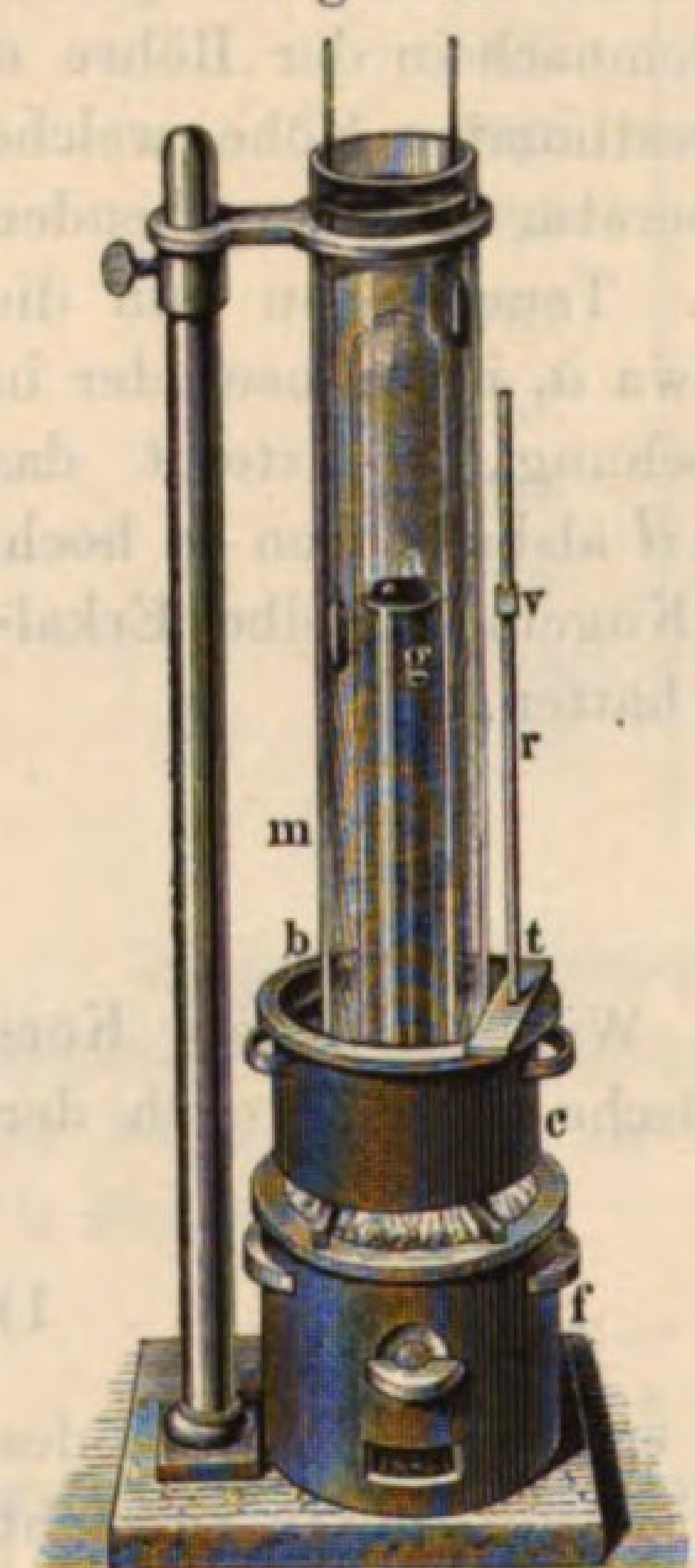
folglich ist

$$s = \frac{P \,.\, 760\,(1 + \alpha t)}{V \,.\, 0{,}001293 \,.\, b} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 3)$$

Um das specifische Gewicht s des Dampfes nach Gleichung 3) bestimmen zu können, muss man also die Grössen P, t, V und b durch zweckmässig angestellte Versuche ermitteln. Gay-Lussac brachte zu diesem Zweck für Wasserdämpfe die folgende Methode in Anwendung:

Auf einem Ofen f, Fig. 635, steht ein gusseisernes Gefäss c, welches Quecksilber enthält; g ist eine graduirte Röhre von 3 bis 4 Decimeter Länge, welche in das Quecksilber des Gefässes c eingetaucht ist. m ist ein Mantel von Glas, welcher mit einer geeigneten Flüssigkeit vollgegossen wird, so dass die Röhre vom Niveau des Quecksilbers in c an bis zur Spitze mit dieser Flüssigkeit umgeben ist. Durch das Brett t, welches auf dem abgeschliffenen genau horizontalen Rande des Gefässes c aufliegt, geht ein getheilter Stab r vertical hindurch. Vor dem Eintauchen in das Gefäss c muss die Röhre g mit Quecksilber gefüllt werden, so dass nach dem Umkehren und nach dem Eintauchen in das Quecksilber des Gefässes c sich keine Luftblase an der Spitze der Röhre g zeigt. Man lässt nun ein Glaskügelchen, welches, in eine feine Spitze ausgezogen, ganz mit Wasser gefüllt und dann zugeschmolzen worden ist, in der Röhre g in die Höhe steigen. Wenn man glühende Kohlen in den Ofen bringt, so wird Alles erwärmt. Das Wasser in dem zugeschmolzenen Glaskügelchen dehnt sich aus und zersprengt seine Hülle. Sogleich bilden sich Wasserdämpfe im oberen Theile der Röhre g, und das Quecksilber sinkt. Man steigert die Temperatur so lange, bis alles Wasser vollständig verdampft ist, und erhält dann das Ganze eine Zeit lang auf einer constanten Temperatur, während man die nöthigen Beobachtungen macht, nämlich

Fig. 635.



1. Wenn alles Wasser verdampft ist, kennt man genau das Gewicht des Dampfes, denn das Glaskügelchen muss man vorher leer, dann mit Wasser gefüllt gewogen haben; die Differenz dieser beiden Gewichte ist das Gewicht des Wassers, also auch das Gewicht des Dampfes, welcher nun im oberen Theile der Röhre g sich befindet.

2. Man beobachtet auf der Röhre den Theilstrich, bis zu welchem sie mit Dampf gefüllt ist. Da der Raum zwischen je zwei Theilstrichen der Röhre bei der Temperatur von 0^0 bekannt ist, so kann man leicht mit Berücksichtigung der Ausdehnung des Glases die Capacität zwischen zwei Theilstrichen für die Temperatur berechnen, bei welcher alle Beobachtungen gemacht werden. Auf diese Weise bestimmt man das Volumen des Dampfes.

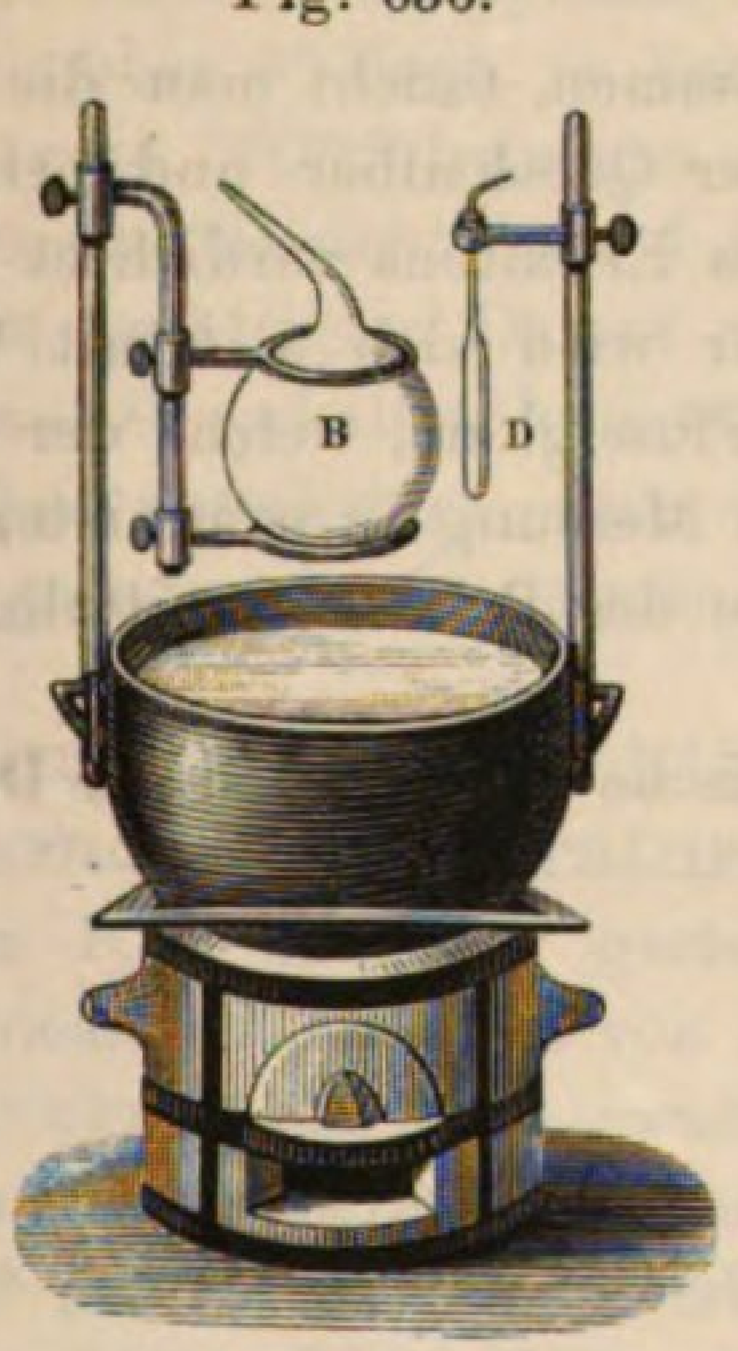
3. Zweckmässig angebrachte Thermometer geben die Temperatur der Flüssigkeit in der Hülle und des Dampfes in der Röhre an.

4. Die Spannkraft des Dampfes endlich beobachtet man mit Hülfe des getheilten Stabes *r*. Man schiebt diesen Stab so weit herunter, dass sein unteres Ende eben den Quecksilberspiegel im Gefäss *c* berührt und dann rückt man den Schieber *v* genau in die Höhe der Quecksilberkuppe in der Röhre, so dass also die Quecksilberkuppe und der untere Rand des Schiebers in einer horizontalen Ebene liegen. Die Höhe des Stabes von unten bis zu dem Schieber giebt die Höhe der Quecksilbersäule in der Röhre. Diese Höhe auf 0^0 reducirt und von dem gleichfalls auf 0^0 reducirten Barometerstande abgezogen, giebt die Spannkraft des Dampfes. Um sicher zu sein, dass alles Wasser vollständig verdampft ist, muss man so weit erwärmen, dass der Dampf für diese Temperatur nicht mehr gesättigt ist, dass also die beobachtete Spannkraft geringer ist als das Maximum der Spannkraft für die beobachtete Temperatur.

Ein anderes Verfahren zur Bestimmung des specifischen Gewichtes der Dämpfe, welches auch für Flüssigkeiten anwendbar ist, deren Siedepunkt höher liegt, und welches vorzugsweise in chemischen Laboratorien angewandt wird, hat Dumas angegeben.

In einen Ballon *B*, welcher in eine feine Spitze ausgezogen ist, Fig. 636, bringt man eine hinreichende Menge der zu untersuchenden

Fig. 636.



Flüssigkeit. Der Ballon wird nun, je nachdem der Siedepunkt der Flüssigkeit höher oder tiefer liegt, in einem Bade von Wasser, Oel oder Chlorzink erhitzt. Der Ballon wird an einem Halter befestigt und durch diesen im Bade festgehalten. Durch Erhitzung des Bades bringt man die Flüssigkeit bald ins Kochen, die Dämpfe strömen mit Gewalt aus der feinen Spitze hervor. Man erhält das Bad unterdessen auf einer Temperatur, welche die des Siedepunktes der Flüssigkeit im Ballon ungefähr um 30^0 übersteigt. Die Temperatur des Bades wird an einem Thermometer abgelesen, welches auf die dargestellte Weise befe-

stigt ist. Sobald alle Flüssigkeit verdampft ist, was man daran sieht, dass das Ausströmen des Dampfes aus der feinen Spitze aufhört, schmilzt man diese vor dem Löthrohre zu. In dem Augenblicke des Zuschmelzens notirt man sich den Stand des Thermometers im Bade und den Barometerstand.

Der nun mit Dampf gefüllte Ballon wird gewogen, nachdem man früher schon denselben, mit trockener Luft gefüllt, gewogen hatte. Die Differenz dieser beiden Wägungen, die wir mit P bezeichnen wollen, giebt an, wie viel der im Ballon enthaltene Dampf mehr wiegt als die trockene Luft, die ihn vorher füllte. Das Gewicht dieser Luftmenge aber kann man berechnen, wenn man das Volumen V des Ballons kennt. Es ist nämlich Vn, wenn n das Gewicht von 1 Cubikcentimeter trockener Luft für die Temperatur und den Barometerstand bezeichnet, bei welchem die erste Wägung vorgenommen wurde, V aber in Cubikcentimetern ausgedrückt ist. Das Gewicht des Dampfes im Ballon ist demnach $P + Vn$.

Um aber die Dichtigkeit des Dampfes zu erhalten, muss man sein absolutes Gewicht durch das Gewicht eines gleichen Volumens Luft von gleicher Temperatur und gleicher Tension dividiren. Bezeichnen wir mit n' das Gewicht von 1 Cubikcentimeter trockener Luft für die Temperatur und den Barometerstand, welche man im Augenblicke des Zuschmelzens der Spitze ablas, so ist Vn' das Gewicht einer Luftmenge von dem Volumen, der Temperatur und der Tension, welche der Dampf im Ballon in dem Augenblicke hatte, in welchem die Spitze zugeschmolzen wurde. Das specifische Gewicht des Dampfes ist demnach

$$s = \frac{P + Vn}{Vn'},$$

wenn das der Luft gleich 1 gesetzt wird.

Um das Volumen des Ballons zu bestimmen, taucht man die zugeschmolzene Spitze des Ballons in Wasser oder Quecksilber und bricht sie dann ab. Da sich die Dämpfe während des Erkaltens verdichtet haben, so ist im Ballon ein Vacuum entstanden, er wird sich also mit Wasser oder Quecksilber füllen. Die Menge der Flüssigkeit, welche der Ballon fasst, kann man durch Wägung oder durch Messung in graduirten Röhren bestimmen und somit auch das Volumen des Ballons ermitteln.

Die folgende Tabelle enthält das specifische Gewicht einiger Dämpfe, das der Luft gleich 1 gesetzt.

Dampf von	Beobachtete Dichtigkeit.	Gewicht von 1 Liter bei 0° u. einem Druck von 760^{mm} in Grammen.	Namen der Beobachter.
Zinnchlorid	9,200	11,051	Dumas.
Jod	8,716	10,323	"
Titanchlorid	6,856	8,881	"
Quecksilber	6,976	9,062	"
Arsenikchlorür	6,301	8,185	"
Chlorkiesel	5,939	7,715	"
Jodwasserstoffäther . .	5,475	7,112	Gay-Lussac.
Terpentinöl	5,013	6,515	"
Phosphorchlorür . . .	4,875	6,353	Dumas.
Arsenikwasserstoff . .	2,695	3,502	"
Schwefelkohlenstoff . .	2,645	3,436	Gay-Lussac.
Schwefeläther	2,586	3,395	"
Chloräthyl	2,219	2,883	Thénard.
Alkohol	1,613	2,096	Gay-Lussac.
Blausäure	0,948	1,231	"
Wasser.	0,623	0,810	"

In Beziehung auf die dritte Columne dieser Tafel ist noch eine Erläuterung nöthig. Sie führt die Ueberschrift: „Gewicht von 1 Liter bei 0° und einem Druck von 760^{mm} in Grammen.“ Diese Ueberschrift enthält aber einen Widerspruch, denn da der Siedepunkt aller dieser Flüssigkeiten über 0° liegt, so kann die Spannkraft aller dieser Dämpfe bei 0° gar nicht 760^{mm} betragen. Die Columne ist jedoch so zu verstehen, dass sie das Gewicht von 1 Liter angiebt, wie es sein würde, wenn man den gesättigten Dampf von 760^{mm} Spannkraft bei unverändertem Druck auf 0° erkalten könnte, ohne dass ein Theil der Dämpfe sich als Flüssigkeit ausscheidet, kurz wenn der Dampf bei dieser Erkaltung auf 0° sich gerade wie ein permanentes Gas verhielte.

Zunahme der Dichtigkeit des gesättigten Dampfes bei wachsender Temperatur. 227 Wenn die Temperatur eines Dampfkessels von 100° auf 120° gesteigert wird, so wächst die Spannkraft des eingeschlossenen Dampfes von 760 auf 1491 Millimeter. Diese Zunahme der Spannkraft hat einen zweifachen Grund.

Die Temperaturerhöhung nämlich würde, wenn sie nur auf den schon bei 100° gebildeten Dampf wirken könnte, nur eine Steigerung der Spannkraft von 760 auf 786 Millimeter bewirken, weil der Dampf sich bei jeder

Temperaturerhöhung in gleicher Weise auszudehnen strebt wie ein Gas. Die weitere Steigerung der Spannkraft kann also nur daher rühren, dass sich in dem Dampfraume des Kessels ausser dem schon bei 100° vorhandenen Dampf noch neuer Dampf bildet, dass also die Dichtigkeit des gesättigten Dampfes mit der Temperatur wächst.

Wenn der Wasserdampf stets dem Mariotte'schen Gesetze folgte, so könnte man leicht die Dichtigkeit desselben berechnen, welche den zusammengehörigen Werthen von t und p der Tabelle entspricht; um sie zu finden, hätte man nur die Dichtigkeit der Luft von gleicher Temperatur und Spannkraft mit 0,623 (siehe die Tabelle auf Seite 715) zu multipliciren.

Da das specifische Gewicht der Luft im Normalzustande gleich 0,001293 ist, so ist das specifische Gewicht derselben für den Druck p und die Temperatur t gleich

$$s = \frac{0,001293}{1 + 0,00365\,t} \cdot \frac{p}{760}.$$

Das specifische Gewicht des Wasserdampfes, dessen Spannkraft p und dessen Temperatur t ist, wäre demnach

$$S = 0,623 \cdot \frac{0,001293}{1 + 0,00365\,t} \cdot \frac{p}{760},$$

oder

$$S = 0,00000106 \, \frac{p}{1 + 0,00365\,t}.$$

Nach dieser Formel ist das specifische Gewicht des gesättigten Wasserdampfes in der dritten Columne der folgenden Tabelle für die in der ersten Columne angegebenen Temperaturen berechnet.

Temperatur t.	Spannkraft p.	Specif. Gewicht S. (Wasser = 1.)	Volumen V.
0	4,6	491	203521
+ 20	17,4	1731	57767
50	92,0	8314	12030
100	760,0	0,00059470	1681
120	1491,3	105764	945
160	4651,6	313690	317
180	7646,4	492866	203
200	11688,9	721669	140

Die Zahlen der letzten Columne sind nach der Gleichung $V = \frac{P}{S}$ (Gleichung 3, S. 16 des 1. Bandes) erhalten, indem man $P = 1$, für S aber die nebenstehenden Werthe des specifischen Gewichtes setzt. Diese Zahlen geben also das in Cubikcentimetern ausgedrückte Volumen an, welches 1 Gramm gesättigten Wasserdampfes bei der in der ersten Columne angegebenen Temperatur einnehmen würde, wenn der Wasserdampf stets vollständig dem Mariotte'schen Gesetz folgte, und wenn der Ausdehnungscoëfficient desselben dem der atmosphärischen Luft stets gleich wäre.

Nun aber geht, wie wir später sehen werden, aus den Principien der mechanischen Wärmetheorie sowohl wie aus den im nächsten Paragraphen mitgetheilten Beobachtungen hervor, dass die gesättigten Dämpfe dem Mariotte'schen Gesetze durchaus nicht folgen. Wenn aber die in obiger Tabelle mitgetheilten Werthe von S und V nur als erste Annäherungen betrachtet werden können, so genügen sie doch, um darzuthun, wie rasch die Dichtigkeit des gesättigten Wasserdampfes zunimmt, wenn die Temperatur steigt. Um dies noch anschaulicher zu machen, ist die Zunahme der Dichtigkeit in Fig. 633 auf Seite 703 von 100^0 an durch die Curve bfg dargestellt, und zwar so, dass dieselbe Länge, welche, als Ordinate aufgetragen, eine Spannkraft von 760^{mm} repräsentirt, für diese Curve eine Dichtigkeit 0,0005947 darstellt, dass also der Höhenunterschied zwischen zwei auf einander folgenden Horizontallinien einem Dichtigkeitsunterschied von 0,0005947 entspricht.

Dichtigkeit der Dämpfe von sehr hoher Spannkraft. 228
Aus der Betrachtung obiger Tafeln und der Fig. 633 auf Seite 703 sieht man, wie rasch bei steigender Temperatur die Dichtigkeit des gesättigten Wasserdampfes wächst; bei fortwährender Temperaturerhöhung muss man also zu einem Punkte kommen, wo die Dichtigkeit des Dampfes fast so gross ist wie die des Wassers. Dies ist auch durch die merkwürdigen Versuche von Cagniard de la Tour bestätigt worden. Eine sehr starke Glasröhre wurde bis zu $^1/_4$ ihres Inhaltes mit Wasser gefüllt und, nachdem alle Luft ausgetrieben war, zugeschmolzen. Wenn nun eine solche Röhre einer immer steigenden Temperatur ausgesetzt wurde, so schien zuletzt alles Wasser verschwunden, die Röhre schien leer zu sein. Sobald die Temperatur etwas sank, erschien die Flüssigkeit wieder.

Bei einer Temperatur, welche dem Schmelzpunkte des Zinks sehr nahe liegt, nimmt der gesättigte Wasserdampf einen ungefähr viermal so grossen Raum ein als im flüssigen Zustande; er greift dabei das Glas an und nimmt ihm durch theilweise Auflösung seiner Bestandtheile seine Durchsichtigkeit. Dem zufolge müsste ungefähr bei der Temperatur der Rothglühhitze die Dichtigkeit des gesättigten Wasserdampfes der des Wassers selbst gleich sein.

Aehnliche Versuche stellte Cagniard de la Tour auch mit den Dämpfen anderer Flüssigkeiten an. Der Apparat, dessen er sich zu diesen Versuchen bediente, ist der Fig. 637 abgebildete. Der längere Schenkel sowohl wie der kürzere waren oben zugeschmolzen. Im längeren befand sich über dem Quecksilber trokene Luft, im kürzeren die Flüssigkeit. Der Durchmesser des längeren Schenkels betrug nur 1^{mm}, der des kürzeren 5^{mm}. Die Glaswände waren sehr dick, so dass sie einen starken Druck aushalten konnten. Die Spannkraft der Dämpfe, welche sich bei der Erwärmung im kürzeren Schenkel bildeten, wurde durch die Differenz der Quecksilberkuppen und die Compression der Luft im längeren Schenkel bestimmt. Beim Versuche wurde der untere Theil des Apparates in ein Oelbad gesenkt.

Fig. 637.



Das völlige Verschwinden der Flüssigkeit erfolgte unter folgenden Umständen.

	Temperatur des Verschwindens.	Volumen des Dampfes im Vergleich zu dem der Flüssigkeit.	Spannkraft der Dämpfe in Atmosphären.
Alkohol	259	3	119
Aether	200	2	37
Schwefelkohlenstoff	275	2	78

Diese Versuche beweisen unwiderleglich, dass die Dämpfe bei einer starken Verdichtung nicht mehr dem Mariotte'schen Gesetze folgen, wie wir dies bei der Berechnung der Tabelle auf S. 716 angenommen hatten. Aus der Tabelle der Seite 715 sehen wir, dass 1 Liter Aetherdampf bei einer Tension von einer Atmosphäre 3,395 Gramme wiegt. Nach den Versuchen von Cagniard de la Tour hat der gesättigte Aetherdampf bei 200^0 eine Tension von 37 Atmosphären; wenn also der Aetherdampf stets dem Mariotte'schen Gesetze folgte, so dürfte bei dieser Temperatur seine Dichtigkeit nicht ganz bis auf das 37fache gestiegen sein; 1 Liter Aetherdampf, dessen Spannkraft 37 Atmosphären beträgt, könnte demnach nicht mehr als $37 \times 3{,}39$, also nicht mehr als 125 Gramme wiegen. Wir sehen aber, dass der gesättigte Aetherdampf von 200^0 halb so dicht ist als der Aether selbst, 1 Liter dieses Dampfes wiegt also 358 Gramme, da 1 Liter Aether 715,5 Gramme wiegt. Die Dichtigkeit ist also fast dreimal so gross, als man hätte erwarten sollen. Aetherdampf von der bei 200^0 beobachteten Dichtigkeit müsste nach dem Mariotte'schen Gesetze eine Spannkraft von 3×37 Atmosphären haben.

Wenn man auch zugiebt, dass die Versuche von Cagniard de la Tour nicht ganz genau sind, so sind doch diese Differenzen so ausserordentlich gross, dass man sie unmöglich Beobachtungsfehlern zuschreiben kann.

Abweichungen der Dämpfe vom Mariotte-Gay-Lussac'schen Gesetz. Dass die Dämpfe, wenn sie sich ihrem Sättigungspunkt nähern, mehr und mehr vom Mariotte'schen Gesetz abweichen, und dass alsdann der Ausdehnungscoëfficient merklich von dem der atmosphärischen Luft abweicht, geht auch aus Versuchen hervor, welche bei weit geringeren Spannkräften angestellt wurden, als diejenigen, mit welchen Cagniard de la Tour experimentirte. 229

Wenn die Dämpfe vollkommen dem Mariotte'schen Gesetze folgten und wenn ihr Ausdehnungscoëfficient stets dem der Luft gleich bliebe, so müsste der nach Gleichung 3 Seite 671 berechnete Werth von s stets derselbe sein, wie auch bei Anstellung der Versuche die Temperatur und die Spannkraft (t und p) der Dämpfe variiren mag. Dies ist jedoch nicht der Fall, wie z. B. aus einer von Regnault für Wasserdampf angestellten Versuchsreihe hervorgeht. Die dritte Verticalreihe der folgenden Tabelle giebt die Werthe von s, wie sie sich aus den Versuchen für die in den beiden ersten Columnen angeführten zusammengehörigen Werthe von t und p ergeben, wenn mit r das specifische Gewicht der atmosphärischen Luft bei gleicher Temperatur und gleicher Spannkraft bezeichnet wird.

t	p	s
30,82	32,14	0,6469 r
31,54	33,24	0,6278 r
37,05	34,19	0,6214 r
55,41	36,23	0,6208 r

Diese Versuche waren nach einer im Wesentlichen mit der Gay-Lussac'schen Methode übereinstimmenden, aber mit einem anders construirten Apparate angestellt worden. Für 30,82° war der Dampf, mit welchem Regnault experimentirte, gesättigt. Aus diesen Versuchen geht hervor, dass die Dichtigkeit des Wasserdampfes mit der Annäherung gegen den Sättigungspunkt in einem rascheren Verhältniss wächst, als die der atmosphärischen Luft von gleicher Spannkraft und gleicher Temperatur, oder, was dasselbe ist, dass mit Annäherung gegen den Sättigungspunkt der Wasserdampf durch gleiche Vermehrung des Drucks stärker comprimirt wird als Luft.

Nach der Methode von Dumas (also unter dem Druck der Atmosphäre) fand Cahours folgende Werthe für das specifische Gewicht des Wasserdampfes für die in der ersten Columne der folgenden Tabelle angegebenen Temperaturen.

t	s
107°	0,645 r
110	0,640 r
150	0,620 r
200	0,619 r

wodurch die von Regnault erhaltenen Resultate bestätigt werden.

Aehnliche Resultate hat Cahours auch für Essigsäure und Phosphorchlorür (PCl_3) und Bineau für Essigsäure und Ameisensäure erhalten.

Die berechneten Werthe des specifischen Gewichts der Wasserdämpfe in der Tabelle auf Seite 716 sind also jedenfalls zu klein.

Erst in grösserem Abstand vom Sättigungspunkt nähern sich die Dämpfe dem vollkommenen Gaszustand. Diese Erfahrungsresultate stimmen vollkommen mit den Ergebnissen der mechanischen Wärmetheorie überein.

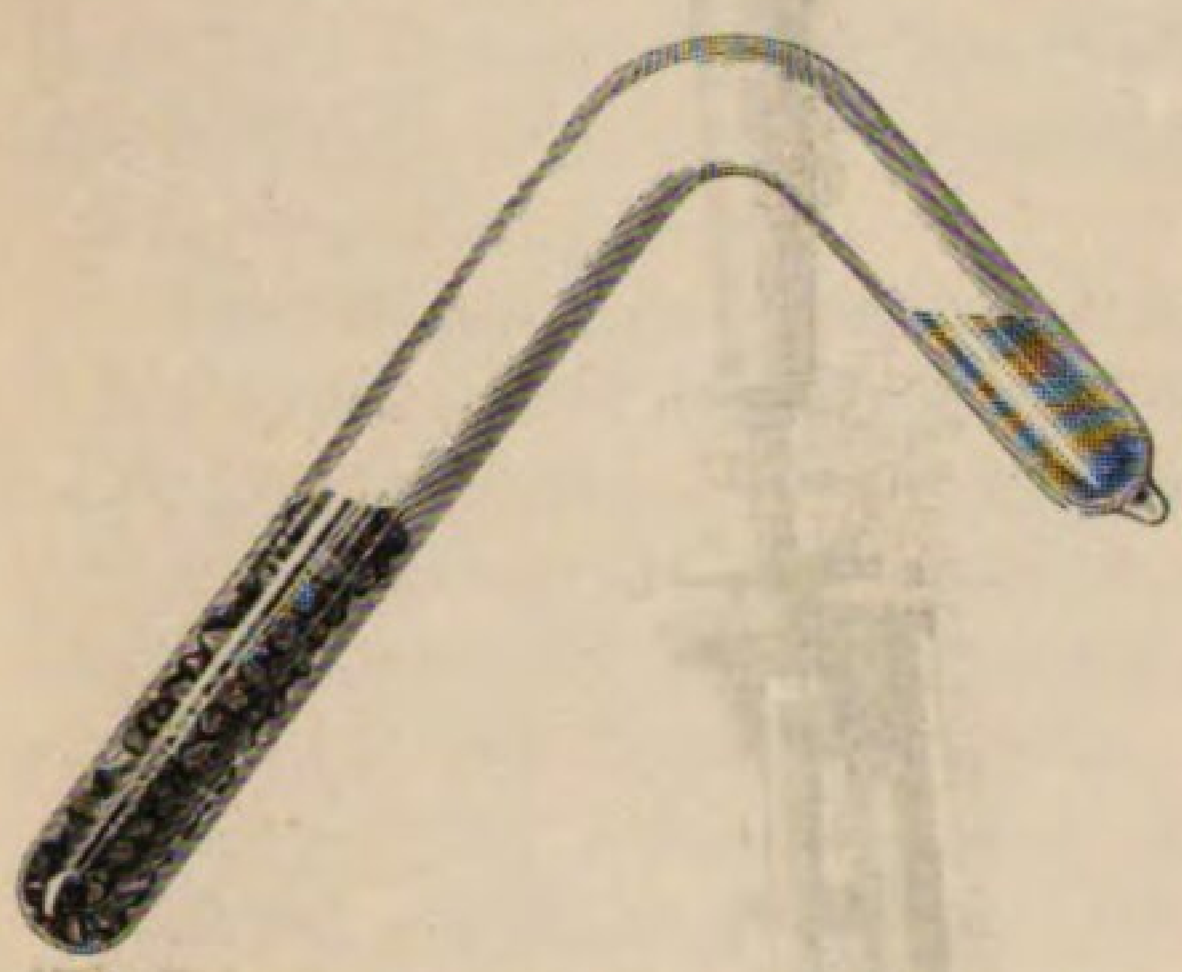
230 **Condensation der Dämpfe und Flüssigmachen der Gase.** Die Dämpfe werden durch Druck und Erkaltung in den flüssigen Zustand zurückgeführt. Nur im ungesättigten Zustande kann ein Dampf comprimirt oder erkaltet werden, ohne dass er sich theilweise in Flüssigkeit verwandelt. Man hat schon lange vermuthet, dass die sogenannten permanenten Gase sich nur dadurch von den Dämpfen unterscheiden, dass sie noch weit von ihrem Sättigungspunkte entfernt sind. Es ist zuerst H. Davy und Faraday gelungen, solche Gase zu condensiren, welche man bis dahin für permanent gehalten hatte. Das Verfahren, dessen sie sich bedienten, bestand darin, die Gase in einer gebogenen starken vollkommen verschlossenen Glasröhre zu entwickeln. Die Gase condensiren sich dann durch ihren eigenen Druck. Ein Beispiel wird dies klar machen.

Man bringe in eine starke Glasröhre etwas Cyanquecksilber, schmelze die Röhre zu und biege sie, wie Fig. 638 zeigt. Wenn man nun das längere Ende dieser Röhre, in welchem sich das Cyanquecksilber befindet, mittelst einer Spirituslampe vorsichtig erwärmt, so bildet sich Cyangas, welches sich am anderen Ende verdichtet, wenn man dasselbe in kaltes Wasser eintaucht.

Um Schwefelwasserstoffgas zu verdichten, füllt man ein starkes Glasrohr ungefähr bis auf $^1/_3$ Inhalts mit Doppeltschwefelwasserstoff

(HS_2), einer gelblichen ölartigen Flüssigkeit, und schmilzt es dann vor dem Löthrohre zu. Die Flüssigkeit zersetzt sich nach und nach von selbst in Schwefel, welcher in schönen durchsichtigen Krystallen sich ausscheidet, und Schwefelwasserstoffgas, welches, weil es nicht entweichen kann, durch seinen eigenen Druck condensirt wird und als eine klare wasserhelle Flüssigkeit über den Schwefelkrystallen schwimmt.

Fig. 638.



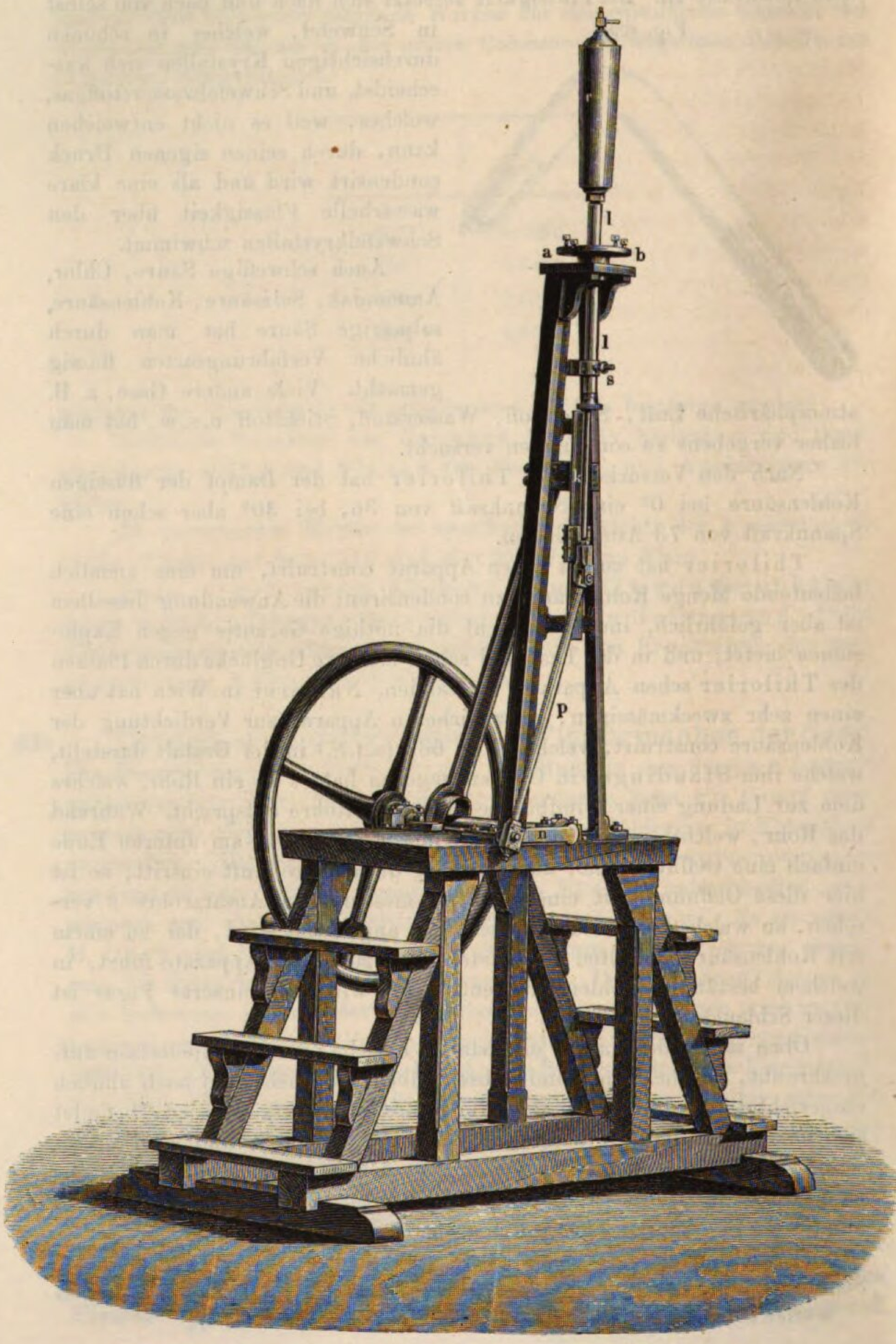
Auch schweflige Säure, Chlor, Ammoniak, Salzsäure, Kohlensäure, salpetrige Säure hat man durch ähnliche Verfahrungsarten flüssig gemacht. Viele andere Gase, z. B. atmosphärische Luft, Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff u. s. w., hat man bisher vergebens zu condensiren versucht.

Nach den Versuchen von Thilorier hat der Dampf der flüssigen Kohlensäure bei 0° eine Spannkraft von 36, bei 30° aber schon eine Spannkraft von 73 Atmosphären.

Thilorier hat zuerst einen Apparat construirt, um eine ziemlich bedeutende Menge Kohlensäure zu condensiren; die Anwendung desselben ist aber gefährlich, indem er nicht die nöthige Garantie gegen Explosionen bietet; und in der That sind schon mehrere Unglücke durch Platzen des Thilorier'schen Apparates entstanden. Natterer in Wien hat aber einen sehr zweckmässigen, ganz sicheren Apparat zur Verdichtung der Kohlensäure construirt, welchen Fig. 639 (a. f. S.) in der Gestalt darstellt, welche ihm Staudinger in Giessen gegeben hat; *l* ist ein Rohr, welches dem zur Ladung einer Windbüchse dienenden Rohre entspricht. Während das Rohr, welches zum Laden der Windbüchse dient, am unteren Ende einfach eine Oeffnung hat, durch welche die äussere Luft eintritt, so ist hier diese Oeffnung mit einem kurzen messingenen Ansatzrohre *s* versehen, an welches der Kautschukschlauch angesteckt wird, der zu einem mit Kohlensäure gefüllten Gasometer oder zu einem Apparate führt, in welchem beständig Kohlensäure entwickelt wird. In unserer Figur ist dieser Schlauch weggelassen.

Oben ist an den Lauf *l* eine starke Flasche *r* von Schmiedeeisen aufgeschraubt, welche dem Windbüchsenkolben entspricht und auch ähnlich eingerichtet ist; da, wo sie auf die Röhre aufgeschraubt wird, befindet sich nämlich ein Ventil, welches sich nach innen öffnet und nach aussen schliesst. Die auf einen Druck von 150 Atmosphären geprüfte Flasche ist Fig. 640 im Durchschnitt dargestellt. Oben ist ein eiserner Aufsatz *g* angesetzt, in welchen eine horizontale messingene Röhre *n* mit feiner Oeffnung mündet. *g* ist in der Mitte durchbohrt, so dass, wenn man die Schraube *t* bis zu einer gewissen Gränze in die Höhe schraubt, das Gas

Fig. 639.



aus der Flasche durch *g* und das Rohr *n* ausströmen kann; wenn aber *t* heruntergeschraubt wird, so ist die Ausflussöffnung verschlossen. Der untere Theil der Flasche *r* ist während des Einpumpens mit einem auf die Metallplatte *ab* aufgeschraubten Kupfergefäss umgeben, welches mit einer Kältemischung (Schnee und Kochsalz) gefüllt wird, um die gehörige Abkühlung zu bewirken.

Das Einpumpen des Gases in die Flasche geschieht mit Hülfe einer Kurbel und eines Schwungrades. Die Kolbenstange *k* ist unten an einem messingenen Querstücke befestigt, welches zur Sicherung der verticalen Bewegung durch Coulissen geführt wird, welche auf beiden Seiten des Gestelles angebracht sind. Die Art sowie die Fortpflanzung der Bewegung ist aus der Figur ersichtlich.

Ein zur Darstellung flüssiger Kohlensäure sehr zweckmässiger Gasentwickelungsapparat ist in Fig. 641 in $^1/_8$ bis $^1/_{10}$ der natürlichen Grösse

Fig. 640.

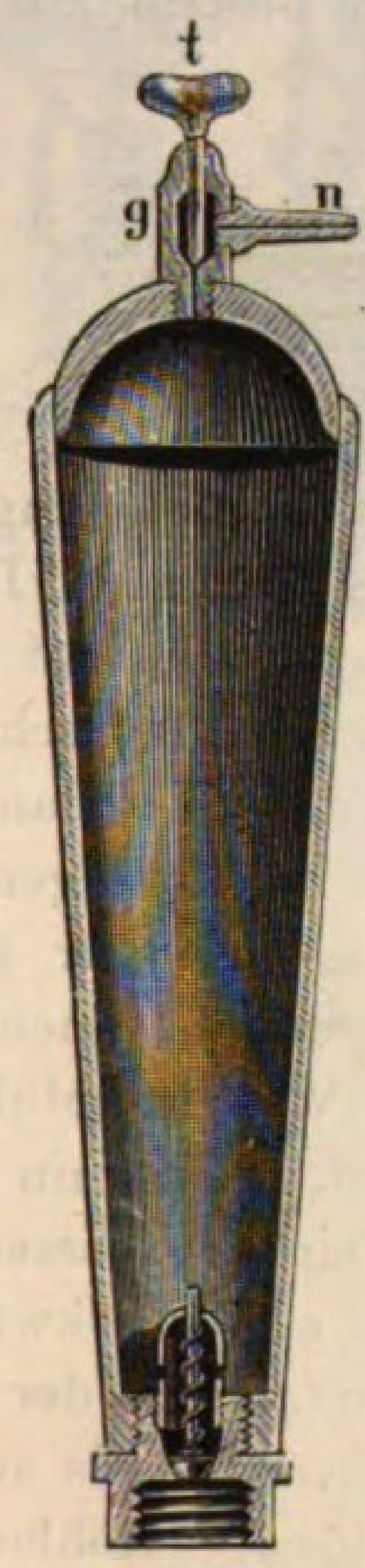
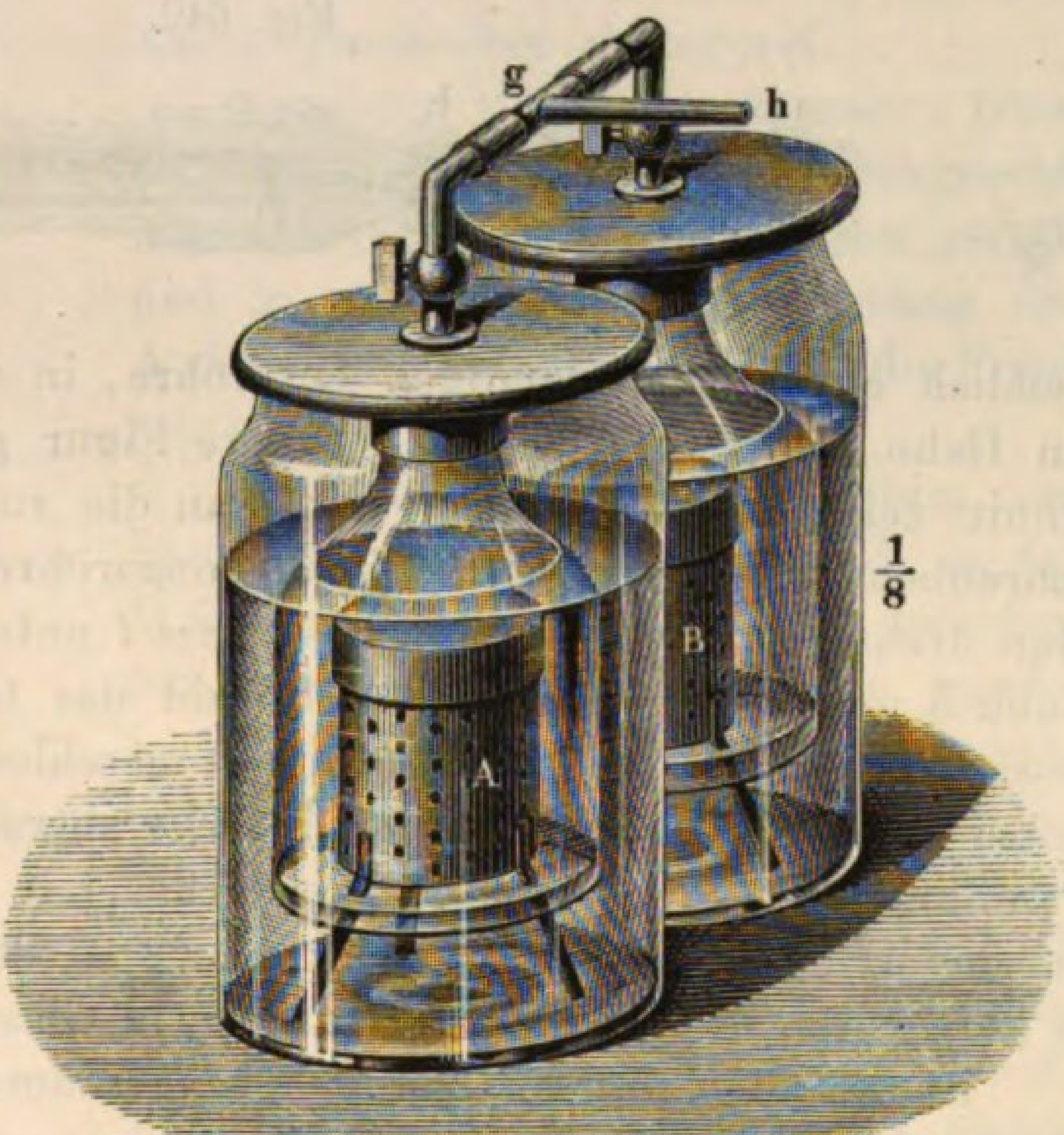


Fig. 641.



dargestellt. Zwei Gasometer von der Form der Döbereiner'schen Wasserstoff-Zündmaschine sind mit einem gemeinschaftlichen Ausströmungsrohr *gh* versehen. Unter der Glocke eines jeden der beiden Gasometer steht ein von drei Beinen getragenes durchlöchertes Gefäss von Kupferblech, welches mit Marmorstücken (oder mit Stücken eines anderen thonerdefreien Kalksteins) gefüllt ist. Die Entwickelungsflüssigkeit ist verdünnte Salzsäure (1 Wasser auf 1 Salzsäure). Von *gh* aus geht die Kohlensäure zunächst durch ein Chlorcalciumrohr, um sie von Wasser-

dampf, und dann durch ein Rohr mit doppelt-kohlensaurem Natron, um sie von Salzsäure zu befreien; die so gereinigte Kohlensäure gelangt dann durch das schon besprochene Kautschukrohr nach *s* und in das Laderohr *l*.

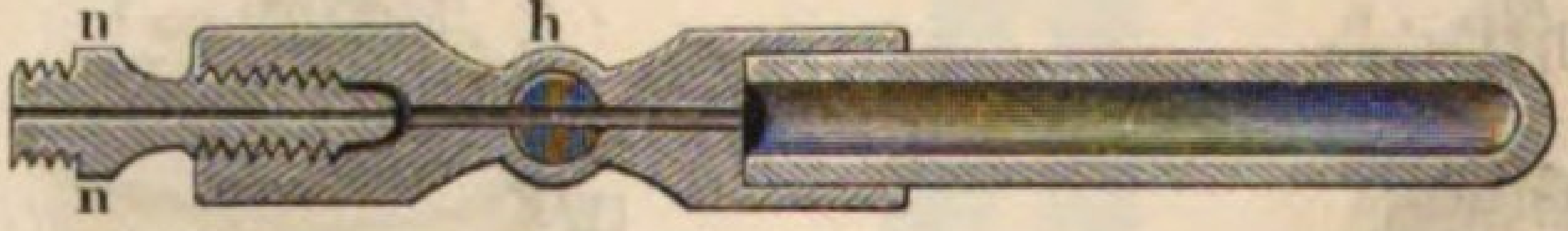
Vor dem Beginne des Versuches wird das Gewicht des Recipienten bestimmt. Nachdem er aufgeschraubt ist, werden 20 bis 30 Umdrehungen gemacht, worauf man das Gas mit der im Recipienten befindlichen atmosphärischen Luft durch das geöffnete Röhrchen *n* entweichen lässt; hierauf wird dasselbe wieder geschlossen, und nun beginnt eigentlich erst das Comprimiren.

Wenn man in jedes der Gasometer *A* und *B*, Fig. 641, 1 Pfund Marmorstücke eingefüllt hat, so kann man zu pumpen fortfahren bis aller Kalk verzehrt ist. Es befinden sich alsdann etwas über 300 Gramm flüssiger Kohlensäure im Ballon *r*.

Auch Stickstoffoxydulgas lässt sich in diesem Apparate verdichten.

Um die verdichtete Kohlensäure in tropfbar flüssigem Zustande zu zeigen, wendet man die Vorrichtung Fig. 642 an. Sie besteht aus einer

Fig. 642.



ziemlich engen, dickwandigen Glasröhre, in deren Messingfassung sich ein Hahn *h* befindet, welchen unsere Figur gerade geöffnet im Durchschnitt zeigt. — Diese Fassung wird an die zu diesem Zwecke mit einem Schraubengewinde versehene Ausströmungsröhre *n*, Fig. 640, angeschraubt. Man dreht nun die Flasche um, so dass *t* unten ist, und öffnet dann den Hahn *h* und die Schraube *t*. — Sobald das Glasrohr mit flüssiger Kohlensäure gefüllt ist, werden *t* und *h* geschlossen, das Glasrohr sammt seiner Fassung von der eisernen Flasche abgeschraubt und in einen dickwandigen Glascylinder gebracht, welcher mit kaltem Wasser gefüllt ist, um dadurch die Gefahr des Zerspringens zu verhindern. Immerhin bleibt es gefährlich, die flüssige Kohlensäure in Glasröhren einzuschliessen.

Die Ausdehnung der flüssigen Kohlensäure bietet eine merkwürdige Erscheinung dar, sie soll nämlich 4mal so gross sein als die der Luft; während sich die Luft bei einer Temperaturerhöhung von 0° bis auf 30° um 0,109 ihres Volumens ausdehnt, soll sich die flüssige Kohlensäure unter gleichen Umständen um 0,423 ihres Volumens ausdehnen. Es folgt daraus, dass das specifische Gewicht der flüssigen Kohlensäure bei verschiedenen Temperaturen sehr ungleich sei; es ist

bei — 20°	0,90
0°	0,83
+ 30°	0,60,

die Dichtigkeit des Wassers gleich 1 gesetzt.

Um die Verhältnisse näher zu untersuchen, bei denen die Conden-

sation der Gase stattfindet, ist wohl kein Apparat geeigneter, als der in Figur 643 dargestellte und bereits auf S. 130 des ersten Bandes im Durchschnitt dargestellte Compressionsapparat von Magnus.

Fig. 643.



In den Glascylinder *A* wird ein Gefäss *C* von Eisenblech eingesetzt, welches in der Mitte mit einem Stabe versehen ist, mittelst dessen man es in den Glascylinder hineinsetzen und wieder herausnehmen kann. Dieses Gefäss ist mit Quecksilber gefüllt und in dieses Quecksilber tauchen vier Röhrchen, von denen das eine Luft, das zweite schweflige Säure, das dritte Ammoniakgas, das letzte endlich Cyangas enthält. Die Röhrchen sind unten offen, die Gase also durch Quecksilber abgesperrt.

Wenn das Gefäss *C* mit seinen Glasröhrchen in den Cylinder *A* eingesetzt ist, so wird er ganz mit Wasser gefüllt und in seine obere Messingfassung der Aufsatz aufgeschraubt, welchen die Figur zeigt.

Mit Hülfe der Druckpumpe kann man nun den Inhalt des Cylinders *A* in der Weise comprimiren, wie es an der oben citirten Stelle bereits angegeben wurde.

Das Röhrchen, welches die Luft enthält, ist graduirt und dient dazu, die Stärke des Druckes zu messen, welchem die Gase ausgesetzt sind. Ist die Luft bis auf $^1/_2$, $^1/_4$, $^1/_8$ ihres ursprünglichen Volumens comprimirt, so ist der Druck, welchem die Gase ausgesetzt sind, gleich 3, 5, 9 Atmosphären.

Im Anfange steigt das Quecksilber in allen Röhren gleichmässig; die Gase verhalten sich also ganz wie die Luft, und dieses Verhalten zeigt jeder Dampf, wenn er nicht im Maximum seiner Spannkraft ist, wenn ein gegebener Raum noch nicht so viel Dampf enthält, als bei der bestehenden Temperatur möglich ist. Durch fortwährende Compression der genannten Gase wird aber bald dieser Punkt er-

reicht. Bei einer Temperatur von 15° wird die schweflige Säure zu einem gesättigten Dampf, wenn sie durch einen Druck von nahezu vier Atmosphären comprimirt ist, wenn also die Luft in dem graduirten Röhrchen noch etwas mehr als den dritten Theil ihres ursprünglichen Volumens einnimmt. Ist diese Gränze erreicht, so sieht man, wie sich das Innere des Röhrchens, welches die schweflige Säure enthält, gleichsam mit Thautröpfchen bekleidet, weil ein Theil des Gases schon zu Flüssigkeit verdichtet ist. Pumpt man nun noch weiter fort, so wird die schweflige Säure alsbald in eine wasserhelle Flüssigkeit verwandelt.

Dieselben Erscheinungen beobachtet man auch beim Cyangas und beim Ammoniakgas, nur tritt ihre Condensation erst bei einem stärkeren Drucke ein.

Anfangs ist die Volumenverminderung in allen vier Röhren gleich, sobald aber für ein Gas der erwähnte Gränzpunkt erreicht ist, wird bei fernerem langsamen Pumpen sein Volumen rasch abnehmen, und bald alles Gas in Flüssigkeit verwandelt sein, während der Gipfel der Quecksilbersäule im Luftröhrchen fast unverändert stehen bleibt.

Hat man die drei Gase vollständig zu tropfbaren Flüssigkeiten condensirt, so kann man nun bei Oeffnung des Apparates die umgekehrte Erscheinungsreihe beobachten.

Bringt man den Hahn *s* in eine solche Stellung, dass der Glascylinder *A* mit dem Wassergefäss *F* in Verbindung kommt, so tritt das vorher eingepumpte Wasser wieder aus *A* nach *F* zurück, die Gase dehnen sich wieder aus. Wenn man den Hahn allmälig dreht, so dass der Druck in *A* nur nach und nach abnimmt, so beobachtet man folgende Erscheinungen.

Anfangs dehnt sich nur Luft aus; in den anderen Röhren sinkt das Quecksilber noch nicht, bis der Punkt erreicht ist, wo die Spannkraft der Dämpfe dem Druck das Gleichgewicht halten kann; in diesem Moment bilden sich aus der Flüssigkeit Dämpfe, welche das Quecksilber des entsprechenden Röhrchens nun so rasch niederdrücken, dass es alsbald den Stand des Quecksilbers in der Luftröhre erreicht hat. Dies findet natürlich zuerst beim Ammoniak statt. Schliesst man den Hahn in dem Augenblick wieder, wo sich die Ammoniakdämpfe gebildet und das Quecksilber niedergedrückt haben, so steht nun in der Luft- und in der Ammoniakröhre das Quecksilber gleich hoch, in den beiden anderen Röhren aber hat sich noch gar kein Gas aus der Flüssigkeit entwickelt. Lässt der Druck ferner nach, so wird sich zunächst aus dem flüssigen Cyangas, zuletzt aber aus der flüssigen schwefligen Säure wieder Gas bilden, und das Quecksilber alsbald so weit niederdrücken, dass es gleiche Höhe mit dem in der Luftröhre hat.

Das rasche Sinken des Quecksilbers rührt daher, dass wenn einmal der Druck so weit abgenommen hat, dass er der Spannkraft der bei dieser Temperatur aus der Flüssigkeit sich bildenden Dämpfe gleich ist, nun

auf einmal alle Flüssigkeit in die Gasform übergeht und das Quecksilber sehr rasch niederdrückt.

Verbreitung der Dämpfe in lufterfüllten Räumen. Die Gesetze der Diffusion, welche wir bereits im ersten Bande kennen lernten, haben bei Dämpfen dieselbe Geltung wie bei Gasen: wenn in einen mit Luft (oder einem anderen Gase) gefüllten geschlossenen Raum eine verdampfbare Flüssigkeit gebracht wird, so bilden sich in diesem Raume gerade ebenso viel Dämpfe, als ob der Raum vollkommen leer wäre; die Spannkraft des Gas- und Dampfgemenges, welches sich bildet, ist also die Summe der Spannkraft des Gases und der Spannkraft des gesättigten Dampfes. Ein Beispiel mag dies deutlicher machen. Gesetzt, man brächte etwas Wasser in einen geschlossenen auf 100^0 erwärmten Raum von 1681 Cub.-Cent. Inhalt, der schon Luft von 760^{mm} Spannkraft enthält, so wird in diesem Raume 1 Grm. Wasser verdampfen (siehe Tabelle auf S. 716), also gerade so viel, als ob dieser Raum vollkommen luftleer gewesen wäre. Die Spannkraft dieses Gemenges von Luft und Wasserdampf aber ist die Summe der Spannkraft der Luft, 760^{mm}, und der Spannkraft des gesättigten Wasserdampfes von 100^0, welche ebenso gross ist; sie ist also gleich dem Drucke von zwei Atmosphären. 231

Es lässt sich dies durch den Versuch auf folgende Art nachweisen. Man fülle eine Toricelli'sche Röhre, Fig. 622 Seite 691, bis auf ein kleines Stück mit Quecksilber, und tauche sie in das Quecksilber des Gefässes ab, so wird die in dem oberen Theil der Röhre aufsteigende Luftblase, eine Länge l der Röhre ausfüllend, eine Spannkraft b ausüben, indem sie die Quecksilbersäule im Rohre so weit niederdrückt, dass ihre Höhe noch $h - b$ ist, wenn h den gerade herrschenden Barometerstand bezeichnet.

Lässt man jetzt noch einige Tropfen Aether in dem Rohre aufsteigen, so wird die Quecksilbersäule noch mehr deprimirt, und zwar wächst die Depression derselben nach und nach, ein Beweis, dass die Aetherdämpfe in dem lufterfüllten Raum nicht momentan das Maximum ihrer Spannkraft erreichen wie im Vacuum.

Endlich erreicht die Spannkraft der Aetherdämpfe im lufterfüllten Raume des Barometerrohres den Gränzwerth p, welcher dem der Temperatur entsprechenden Maximum der Spannkraft der Aetherdämpfe im Vacuum gleich ist, so dass die Höhe der Quecksilbersäule nur noch $h - b - p$ beträgt, wenn man das Rohr so weit niederdrückt, dass das Gemenge von Luft und Dampf in dem oberen Theil derselben abermals die Länge l einnimmt.

Es befinde sich z. B. bei einer Temperatur von 10^0 C. in dem oberen Theil des Toricelli'schen Rohres so viel Luft, dass sie bei einer Spannkraft von 152^{mm} noch eine Länge von 25^{mm} einnimmt; man bringe alsdann einige Tropfen Aether in das Rohr, so wird die Spannkraft des im

oberen Theil des Rohres sich bildenden Luft- und Dampfgemenges nach mehreren Stunden so gross werden, dass es, die Länge von 25^{mm} einnehmend, eine Depression der Quecksilbersäule von $152 + 286{,}5 = 438{,}5$ (s. die Tabelle auf Seite 707) bewirkt, dass also die Höhe der Quecksilbersäule nur noch $321{,}5^{mm}$ beträgt, wenn der Barometerstand gerade 760^{mm} ist.

Diese Art des Versuches ist jedoch nur für Luft von geringer Tension beweisend; dass sich aber auch in einem Raume, welcher mit Luft von atmosphärischer Dichtigkeit gefüllt ist, vollkommen ebenso viel Dampf bildet als ob der Raum leer wäre, lässt sich mit dem Apparate Fig. 644 zeigen. *t* ist eine weite graduirte Glasröhre, welche mit ihrem offenen Ende in eine eiserne, mit einem eisernen Hahn *r* versehene Fassung eingekittet ist. An die Röhre *t* ist seitlich eine engere, gleichfalls graduirte Glasröhre *s* angelöthet, wie man in der Figur sieht. Nachdem der ganze Apparat mit Quecksilber gefüllt worden ist, wird der Hahn *r* geöffnet. In dem Maasse nun, in welchem hier Quecksilber ausläuft, sinkt das Niveau desselben in der Röhre *s* allmälig bis *v*, und von dem Augenblicke an werden bei fortdauerndem Ausfliessen des Quecksilbers durch *r* Luftblasen in die Röhre *t* eindringen.

Fig. 644.



Auf diese Weise wird die Röhre *t* ungefähr zur Hälfte mit Luft gefüllt; damit aber diese durch die Röhre *s* eindringende Luft vollkommen trocken sei, muss man am oberen Ende von *s* ein Chlorcalciumrohr befestigen, so dass alle in den Apparat eintretende Luft erst durch dieses hindurchstreichen muss.

Nachdem so der obere Theil von *t* mit trockener Luft gefüllt ist, wird *r* geschlossen und in *s* so viel Quecksilber nachgefüllt, dass es in beiden Röhren gleich hoch steht, dass also die in *t* eingeschlossene Luft gerade unter dem Drucke der Atmosphäre steht.

Nachdem man sich nun den Theilstrich gemerkt hat, bis zu welchem das Quecksilber gerade in *t* steht (wir wollen ihn mit *n* bezeichnen), bringt man einige Tropfen Wasser in die Röhre *s* und öffnet den Hahn *r* so lange, bis etwas von diesem Wasser in das Rohr *t* eingedrungen ist.

Nachdem nun der Apparat so lange gestanden hat, dass die Spannkraft der Wasserdämpfe im oberen Theil des Rohres *t* ihr Maximum erreicht hat, muss man in das Rohr *s* eine Quantität Quecksilber nachgiessen, um zu machen, dass sein Spiegel im Rohre *t* wieder bei *n* steht. Es wird dies der Fall sein, wenn die Höhe, um welche sich die Quecksilbersäule im Rohre *s* über den Punkt *n* erhebt, gleich ist der Spannkraft des gesättigten Wasserdampfes, wie dieselbe in der Tabelle auf S. 706 für die herrschende Temperatur angegeben ist. Für eine Temperatur von 20° C. wird also die Höhe dieser Quecksilbersäule 17,39 Millimeter betragen.

Statt des Wassers kann man zu dem Versuche mit dem Apparate Fig. 644 auch Weingeist anwenden.

Fig. 645 stellt einen den eben besprochenen ähnlichen zu dem gleichen Zwecke construirten Apparat dar, dessen Anwendung wohl ohne weitere Beschreibung verständlich sein wird.

Sehr einfach lässt sich diese Erscheinung auch mit Hülfe des Fig. 646 dargestellten, von Frick angegebenen Apparates nachweisen. Das Gefäss A ist durch einen wohl schliessenden Kork verschlossen, in welchem zwei

Fig. 645.

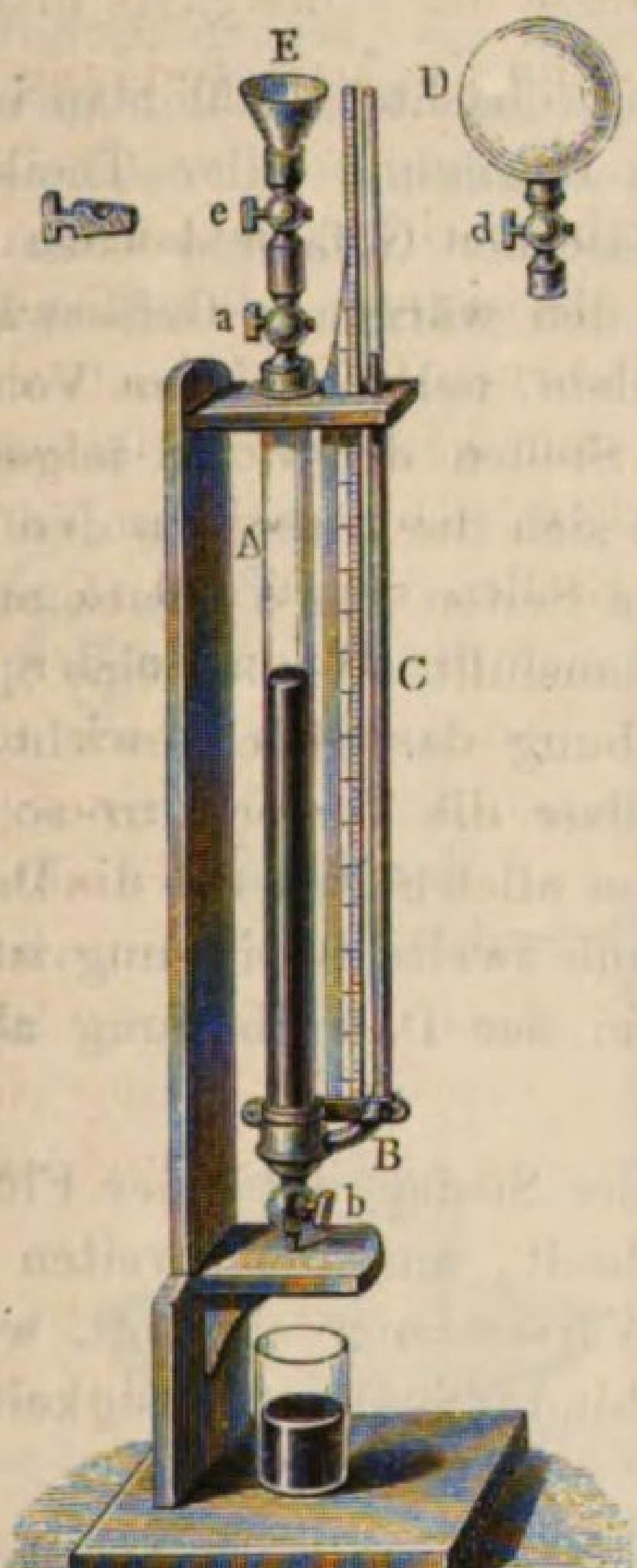
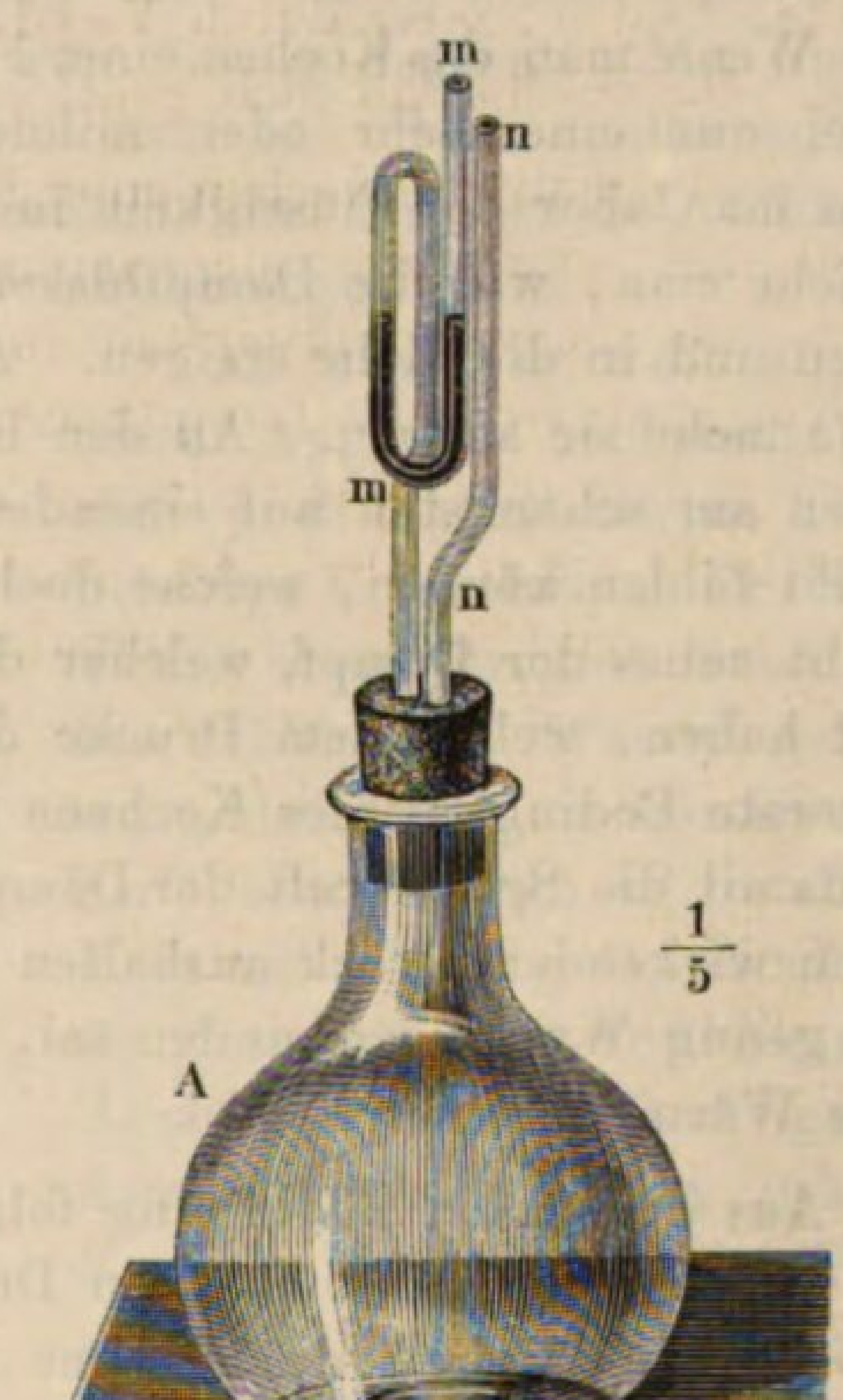


Fig. 646.



Glasröhren mm und nn stecken, von denen die eine mm so gebogen ist, dass sie als Manometer dienen kann. Nachdem mittelst eines Chlorcalciumrohrs und einer Luftpumpe das Gefäss A mit vollkommen trockener Luft gefüllt ist, wird eine entsprechende Menge Quecksilber in das Manometerrohr mm gegossen, durch das Rohr nn einige Tropfen Wasser in das Gefäss eingebracht und sobald dies geschehen, ist das Rohr nn luftdicht verschlossen. Alsbald beginnt das Manometer zu steigen und so die Spannkraft des in A sich bildenden Dampfes anzuzeigen.

Wenn es sich nur um Vorlesungsversuche und nicht um genauere Messung handelt, kann man bei Anwendung von Weingeist anstatt des Wassers die Austrocknung des Gefässes A unterlassen.

In dem lufterfüllten Raume verbreiten sich die Wasserdämpfe frei-

lich, wie bereits bemerkt wurde, weit langsamer als im luftleeren. Die Gegenwart der Luft verzögert also die Verbreitung der Dämpfe und zwar um so mehr, je dichter sie ist.

232 **Abhängigkeit des Siedepunktes vom Drucke.** Die Verwandlung der Flüssigkeiten in gasförmige Körper nennt man im Allgemeinen Verdampfung. Die Flüssigkeiten verdampfen entweder durch das Kochen, wenn sich durch die ganze Masse der Flüssigkeit hindurch Dämpfe bilden, oder durch Verdunsten, wenn die Dampfbildung bloss an der Oberfläche vor sich geht.

Wenn man das Kochen einer Flüssigkeit beobachtet, sieht man in der Regel nur eine mehr oder minder heftige Bewegung aller Theilchen; wenn man aber die Flüssigkeit in einem gläsernen Gefässe kochen lässt, so sieht man, wie die Dampfblasen sich an den wärmeren Gefässwänden bilden und in die Höhe steigen. Anfangs klein, nehmen sie an Volumen zu, je mehr sie steigen. An den heissesten Stellen der Wand folgen die Blasen am schnellsten auf einander. Damit sich die Blasen in der Flüssigkeit bilden können, welche doch von allen Seiten einen Druck auf sie ausübt, muss der Dampf, welcher die Blasen ausfüllt, offenbar eine Spannkraft haben, welche dem Drucke der Umgebung das Gleichgewicht hält. Die erste Bedingung des Kochens ist also, dass die Temperatur so hoch sei, damit die Spannkraft der Dämpfe den von allen Seiten auf die Dampfblasen wirkenden Druck aushalten kann. Eine zweite Bedingung ist die, dass genug Wärme vorhanden sei, welche bei der Dampfbildung als latente Wärme absorbirt wird.

Aus der ersten Bedingung folgt, dass der Siedepunkt einer Flüssigkeit mit dem auf ihr lastenden Drucke wechselt, aus der zweiten aber, dass die Schnelligkeit des Kochens von der Wärmemenge abhängt, welche in einer gegebenen Zeit durch die Wände hindurch der Flüssigkeit zugeführt wird.

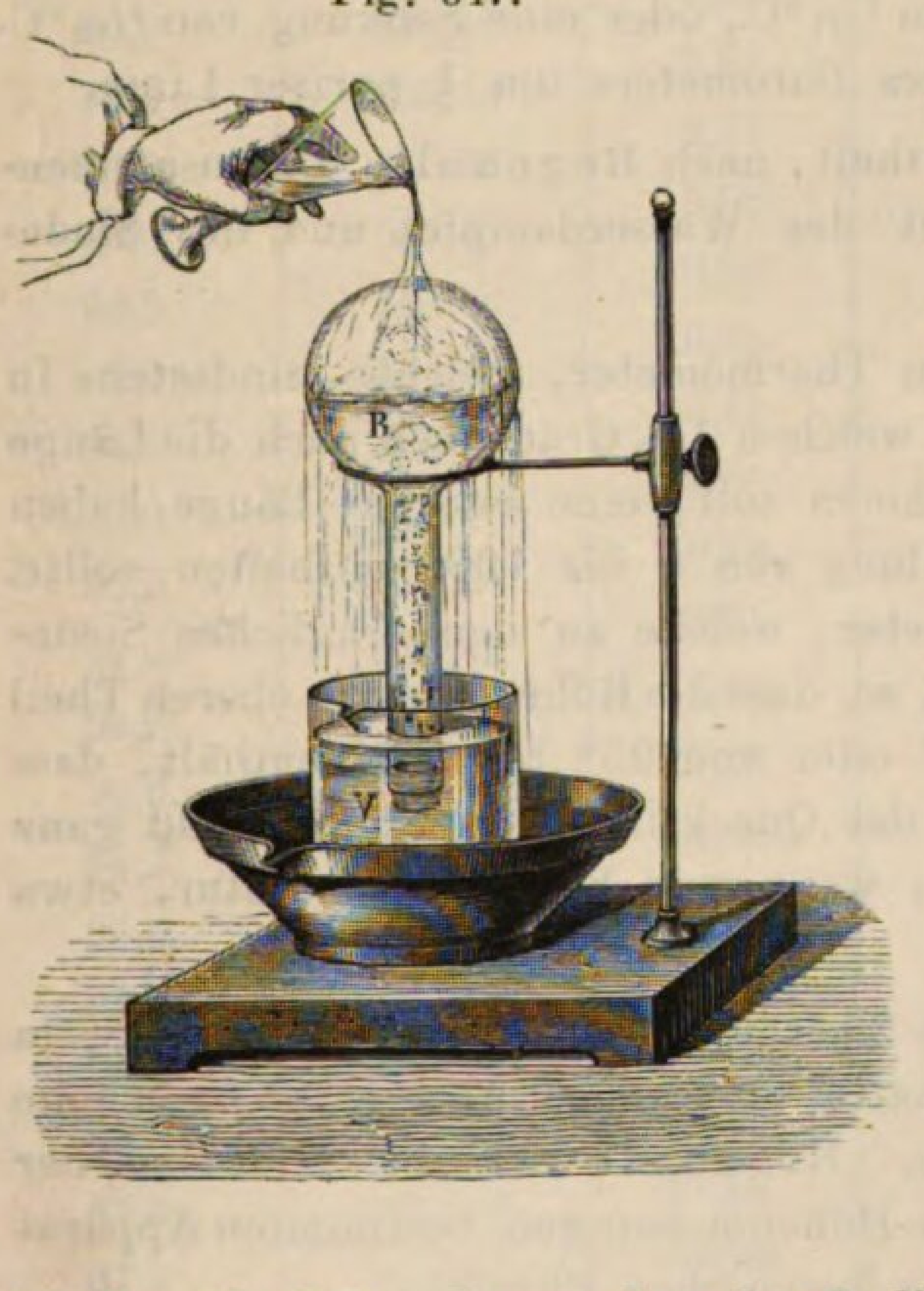
An dem Spiegel des Meeres und unter dem mittleren Drucke von 760^{mm} kocht das reine Wasser bei 100^0 C.; auf dem Gipfel des Montblanc, in der Höhe von 4772 Metern, wo der Druck der Atmosphäre nur noch 417^{mm} beträgt, kocht das Wasser schon bei einer Temperatur, bei welcher die Spannkraft des Wasserdampfes 417^{mm} beträgt, d. h. ungefähr bei 84^0. In noch grösserer Höhe würde das Wasser bei noch niedrigerer Temperatur sieden. Wenn man die Tafel für die Spannkraft der Dämpfe einer Flüssigkeit hat, so kann man leicht die Temperatur des Siedepunktes bei gegebenem Drucke finden, denn es ist derjenige Temperaturgrad, für welchen die Spannkraft des gesättigten Dampfes jenem Drucke gleich ist. Umgekehrt kann man eine Flüssigkeit bei einer gegebenen Temperatur ins Kochen bringen, wenn man nur den Druck hinlänglich vermindert.

Bei einem Drucke von 40^{mm} z. B. ist die Siedetemperatur des

Wassers 35°, weil bei dieser Temperatur die Spannkraft des gesättigten Wasserdampfes 40^{mm} ist.

Die Wahrheit dieser Folgerungen lässt sich leicht durch den Versuch nachweisen. Man bringe Wasser von ungefähr 50° in einem Glasgefässe unter den Recipienten der Luftpumpe. Nach einigen Kolbenzügen zeigt die Barometerprobe nur noch einen Druck von 89^{mm}, und nun beginnt das Kochen mit Heftigkeit gerade so, als ob das Wasser an freier Luft über einem lebhaften Feuer stände. Dieses Sieden hört aber bald auf, weil der Dampf den Recipienten erfüllt und selbst auf die Flüssigkeit drückt, ein neuer Kolbenzug aber nimmt diesen Dampf wieder weg und macht, dass das Kochen von Neuem beginnt. Mit unseren Luftpumpen ist es nicht möglich, das Wasser bei 0° ins Sieden zu bringen, weil man wegen der an der Oberfläche des Wassers sich bildenden Dämpfe die Spannkraft nicht auf 5^{mm} herabbringen kann.

Fig. 647.



An dem Fig. 647 abgebildeten Apparate beobachtet man eine noch auffallendere hierher gehörige Erscheinung. Ein Ballon *B* mit etwas langem Halse wird zur Hälfte mit Wasser gefüllt; wenn durch Kochen desselben alle Luft ausgetrieben ist, wird der Hals mit einem guten Kork luftdicht verschlossen und der ganze Apparat so auf ein Stativ gesetzt, dass der nach unten gekehrte Kork in ein Gefäss mit Wasser eintaucht. Auf dem Wasser im Ballon *B* lastet nun kein anderer Druck als der der eingeschlossenen Wasserdämpfe. Wird nun kaltes Wasser auf den Ballon *B* gegossen, so geräth das in ihm befindliche warme Wasser augenblicklich in lebhaftes Kochen. Es ist dies die Folge davon, dass durch die Abkühlung der Dampf im oberen Theile des Ballons verdichtet und dadurch der auf der Flüssigkeit lastende Druck vermindert wird.

Die Variationen des Siedepunktes hat man auch durch directe Versuche an hochgelegenen Orten der Alpen, der Pyrenäen und anderer Gebirge bestätigt.

Das kochende Wasser ist also nicht an allen Punkten der Erde gleich warm, und folglich ist es nicht überall gleich tauglich zu häuslichen Zwecken, zur Bereitung der Speisen. In Quito z. B. kocht das

Wasser schon bei 90°, und diese Temperatur ist zum Kochen mancher Substanzen zu niedrig, welche eine Temperatur von 100° erfordern.

Da der Barometerstand an einem und demselben Orte fortwährend schwankt, so folgt, dass der Siedepunkt in jedem Augenblicke variirt. Zu Paris sind die äussersten Gränzen des Barometerstandes, welche man in 20 Jahren beobachtet hat, 719^{mm} und 781^{mm}. Dem höchsten Stande von 781^{mm} entspricht ein Siedepunkt von 100,8°, dem niedrigsten Barometerstande von 719^{mm} aber der Siedepunkt von 99,5°.

233 **Hypsometrische Thermometer.** Um die Schwankungen des Barometers mit Sicherheit aus Thermometerbeobachtungen über den Siedepunkt des Wassers ableiten zu können, ist es durchaus nöthig, dass die einzelnen Grade des Thermometers lang genug sind, um wenigstens noch in 10 gleiche Theile getheilt werden zu können. In der That entspricht bei mittlerem Luftdrucke ein Sinken des Barometers von 1^{mm} einer Senkung des Siedepunktes um $^1/_{27}$°C., oder eine Senkung von $^1/_{10}$°C. entspricht nahezu einem Sinken des Barometers um 1 pariser Linie.

Die Tabelle auf Seite 733 enthält, nach Regnault, die zusammengehörigen Werthe der Spannkraft des Wasserdampfes und des Siedepunktes von 85° bis 101°C.

Man sieht wohl ein, dass ein Thermometer, welches mindestens in Zehntel-Grade getheilt ist und bei welchen $^1/_{10}$ Grad doch auch die Länge von ungefähr 1 Millimeter einnehmen soll, eine enorme Länge haben müsste, wenn es die ganze Theilung von 0 bis 100° enthalten sollte. Man macht deshalb die Thermometer, welche zu den fraglichen Siedepunktsbestimmungen dienen sollen, so, dass die Röhre nur den oberen Theil der Scala, etwa von 85° bis 101° oder von 95° bis 101° enthält, dass also für niedrigere Temperaturen das Quecksilber das Gefäss nicht ganz ausfüllt und erst in das Rohr tritt, wenn eine höhere Temperatur, etwa 85° oder 95°, erreicht ist.

Wollaston hat zuerst solche Thermometer construirt, deren Scala nur einen Umfang von 3 Graden hatte, an welchen aber jeder Grad eine Länge von 5 Centimeter einnahm. Regnault hat mit Hülfe solcher Thermometer einen besonderen, zu Höhenmessungen bestimmten Apparat construirt. Näheres darüber in der kosmischen Physik.

Nach dieser Auseinandersetzung begreift man wohl, dass die Bestimmungen des Siedepunktes an Thermometern einer Correction bedarf, wenn der Barometerstand beim Markiren desselben nicht gerade 760^{mm} betrug. Wäre z. B. der Barometerstand gerade 733^{mm} gewesen, als man nach der Seite 621 angegebenen Methode den Siedepunkt markirte, so würde der bezeichnete Punkt nicht 100°, sondern nur 99° entsprechen, man hätte also den Zwischenraum zwischen ihm und dem Gefrierpunkt in 99 gleiche Theile zu theilen. Mit Hülfe der Tabelle auf Seite 733 kann man jederzeit leicht berechnen, wie weit der Punkt 100° noch von

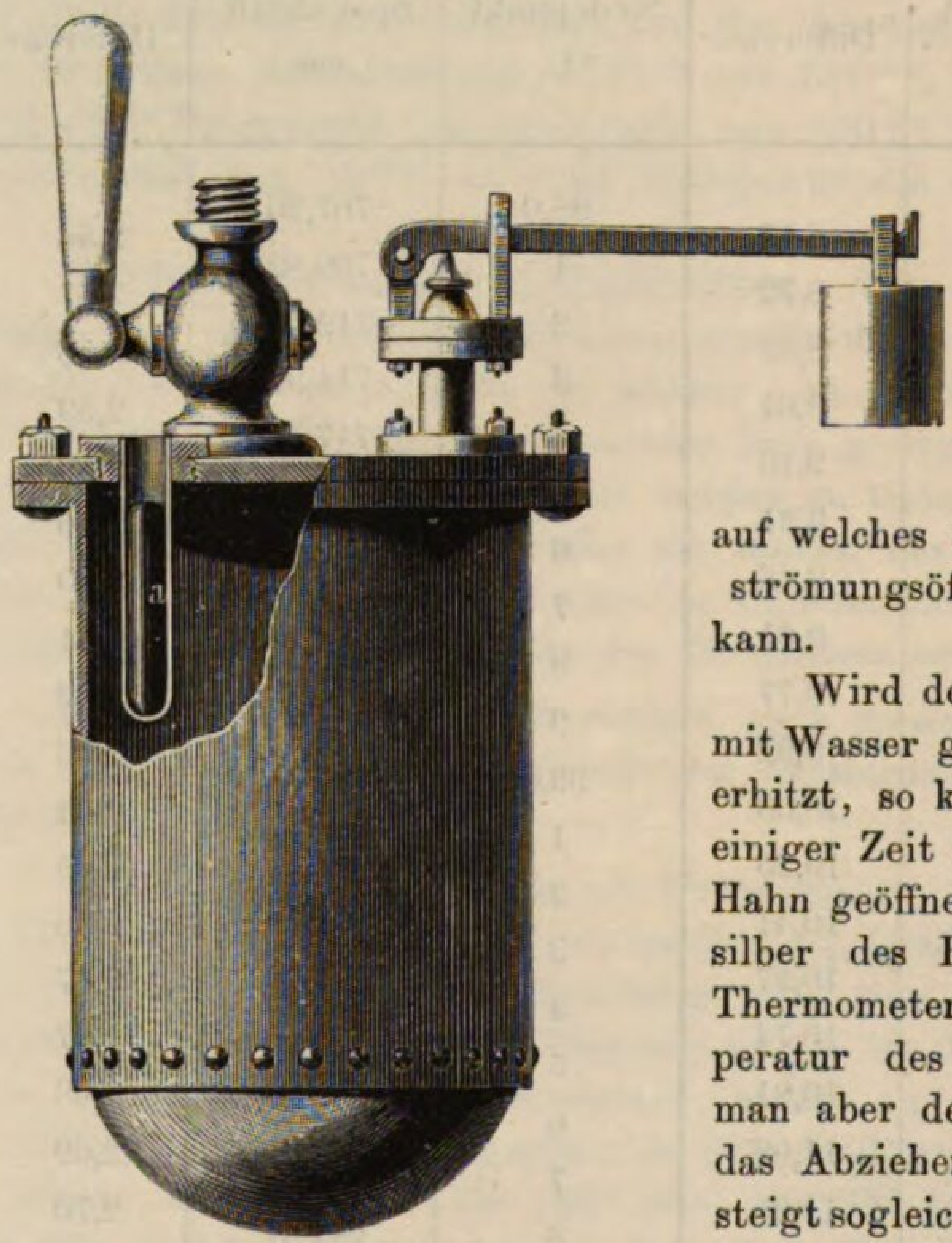
dem beobachteten Siedepunkt absteht, wenn der Barometerstand im Moment der Beobachtung ein anderer war als 760^{mm}.

Siedepunkt °C.	Spannkraft mm.	Differenz.	Siedepunkt °C.	Spannkraft mm.	Differenz.
85,0	433,04	8,58	98,0	707,26	2,56
85,5	441,62	8,72	1	709,82	2,57
86,0	450,34	8,87	2	712,39	2,58
86,5	459,21	9,01	3	714,97	2,59
87,0	468,22	9,16	4	717,56	2,59
87,5	477,38	9.31	5	720,15	2,60
88,0	486,69	9,46	6	722,75	2,60
88,5	496,15	9,61	7	725,35	2,61
89,0	505,76	9,77	8	727,96	2,62
89,5	515,53	9,92	9	730,58	2,63
90,0	525,45	10,08	99,0	733,21	2,64
90,5	535,53	10,25	1	735,85	2,65
91,0	545,78	10,41	2	738,50	2,66
91,5	556,19	10,57	3	741,16	2,67
92,0	566,76	10,74	4	743,83	2,67
92,5	577,50	10,91	5	746,50	2,68
93,0	588,41	11,08	6	749,18	2,69
93,5	599,49	11,25	7	751,87	2,70
94,0	610,74	11,43	8	754,57	2,71
94,5	622,17	11,61	9	757,28	2,72
95,0	633,78	11,79	100,0	760,00	2.73
95,5	645,57	11,97	1	762,73	2,73
96,0	657,54	12,15	2	765,46	2,74
96,5	669,69	12,34	3	768,20	2,75
97,0	682,03	12,53	4	771,95	2,76
97,5	694,56		5	773,71	
			101,0	787,63	

Sieden des Wassers bei hohem Druck. Wenn man den 234
Druck auf die Flüssigkeit vermehrt, so wird dadurch das Kochen verzögert, und man kann es ganz verhindern, wenn man nur den Druck stark genug macht. Es lässt sich dies an jedem mit einem Sicherheitsventil versehenen Dampfkessel nachweisen, bei welchem dafür gesorgt ist, dass man die Temperatur der Dämpfe im Inneren messen kann, wie

dies bei dem kleinen Dampfkessel Fig. 648 der Fall ist. In dem fest aufgeschraubten Deckel befinden sich drei Oeffnungen; auf der einen ist ein Sicherheitsventil angebracht; in die zweite Oeffnung ist ein in den Kessel hineinragendes Röhrchen *a* von Eisenblech aufgeschraubt, welches zum Theil mit Quecksilber gefüllt wird. Auf der dritten Oeffnung endlich sitzt ein kurzes Rohr, welches durch einen Hahn verschlossen werden und auf welches man verschiedene Ausströmungsöffnungen aufschrauben kann.

Fig. 648.



Wird der bis zu $^2/_3$ seiner Höhe mit Wasser gefüllte Kessel genügend erhitzt, so kommt das Wasser nach einiger Zeit ins Kochen, wenn der Hahn geöffnet ist; ein in das Quecksilber des Rohres *a* eingetauchtes Thermometer zeigt constant die Temperatur des Siedepunktes. Sobald man aber den Hahn schliesst, also das Abziehen der Dämpfe hindert, steigt sogleich das Thermometer, und die Spannkraft der Dämpfe im Kessel wächst, bis sie endlich gross genug ist, um das Sicherheitsventil zu heben und hier einen Ausweg zu erzwingen.

Gesetzt, der Querschnitt der Ventilfläche betrage 1 Quadratcentimeter, und an den Hebel sei ein Gewicht so angehängt, dass das Ventil durch einen Druck von 1 Kilogramm belastet ist, so wird der Dampf zum Ventil herausblasen (abblasen), wenn das Thermometer auf 121,4° C. gestiegen ist; denn bei dieser Temperatur ist die Spannkraft des Dampfes gleich dem Drucke von zwei Atmosphären, und dies ist der Druck, welcher, den Luftdruck selbst mitgerechnet, auf dem Ventil lastet.

Rückt man das Gewicht am Hebel weiter weg, so wird dadurch der Druck auf das Ventil vermehrt, die Spannkraft der Dämpfe muss also gesteigert werden, wenn das Ventil gehoben werden soll, und dies findet erst statt, wenn die Temperatur in entsprechender Weise gestiegen ist.

Hier ist also das Kochen des Wassers offenbar verzögert, es findet erst bei einer Temperatur statt, welche mehr oder weniger hoch über

dem gewöhnlichen Siedepunkte des Wassers liegt, wenn nämlich die Spannkraft der Dämpfe gross genug ist, um das Ventil zu heben, so dass ein beständiges Abblasen durch dasselbe stattfindet.

Die ersten Versuche mit einem solchen kleinen Dampfkessel stellte in der Mitte des 17. Jahrhunderts Papin, ein in Marburg lebender Gelehrter, an, nach welchem dergleichen Apparate auch mit dem Namen des Papinianischen Topfes oder des Papinianischen Digestors benannt werden. Papin benutzte seinen Digestor, theils um die mechanische Kraft des Wasserdampfes, theils um die auflösende Kraft des über 100^0 erwärmten Wassers zu zeigen.

Wenn man in einem Gefässe, aus welchem der Dampf nur durch verhältnissmässig kleine Oeffnungen abziehen kann, Wasser ins Kochen bringt, so beobachtet man eine Erhöhung des Siedepunktes. Durch eine kleine Oeffnung kann nämlich nur dann aller Dampf, welcher durch die in jedem Moment in die Flüssigkeit übergehende Wärme erzeugt wird, ausströmen, wenn durch die grössere Spannkraft des Dampfes eine grössere Ausströmungsgeschwindigkeit möglich geworden ist.

In einer flüssigen Masse wirkt auf die Theilchen im Inneren nicht allein der Druck, welcher auf der Oberfläche lastet, sondern auch noch das Gewicht einer Flüssigkeitssäule. Hätte man z. B. einen 32 Fuss tiefen, mit Wasser gefüllten Kessel, so würde am Boden ein Druck von 2 Atmosphären stattfinden, und hier würden sich also erst bei einer Temperatur von $121{,}4^0$ Dampfblasen bilden können.

Wenn durch Erwärmung von unten in irgend einem Gefässe Wasser zum Sieden gebracht werden soll, so bilden sich, schon bevor das vollständige Kochen beginnt, an dem Boden bereits Dampfblasen, welche beim Aufsteigen sich rasch wieder verdichten, weil sie in Wasserschichten kommen, deren Temperatur noch zu niedrig ist. Daher rührt das eigenthümliche Geräusch, welches man einige Augenblicke vor dem vollständigen Kochen wahrnimmt. Wenn man den Versuch in einem Glaskolben anstellt, so beobachtet man, wie sich die Blasen am Boden bilden, wie sie steigen und alsbald verschwinden. Man sagt alsdann, das Wasser singt. Das Singen ist ein Zeichen des bald erfolgenden vollständigen Kochens.

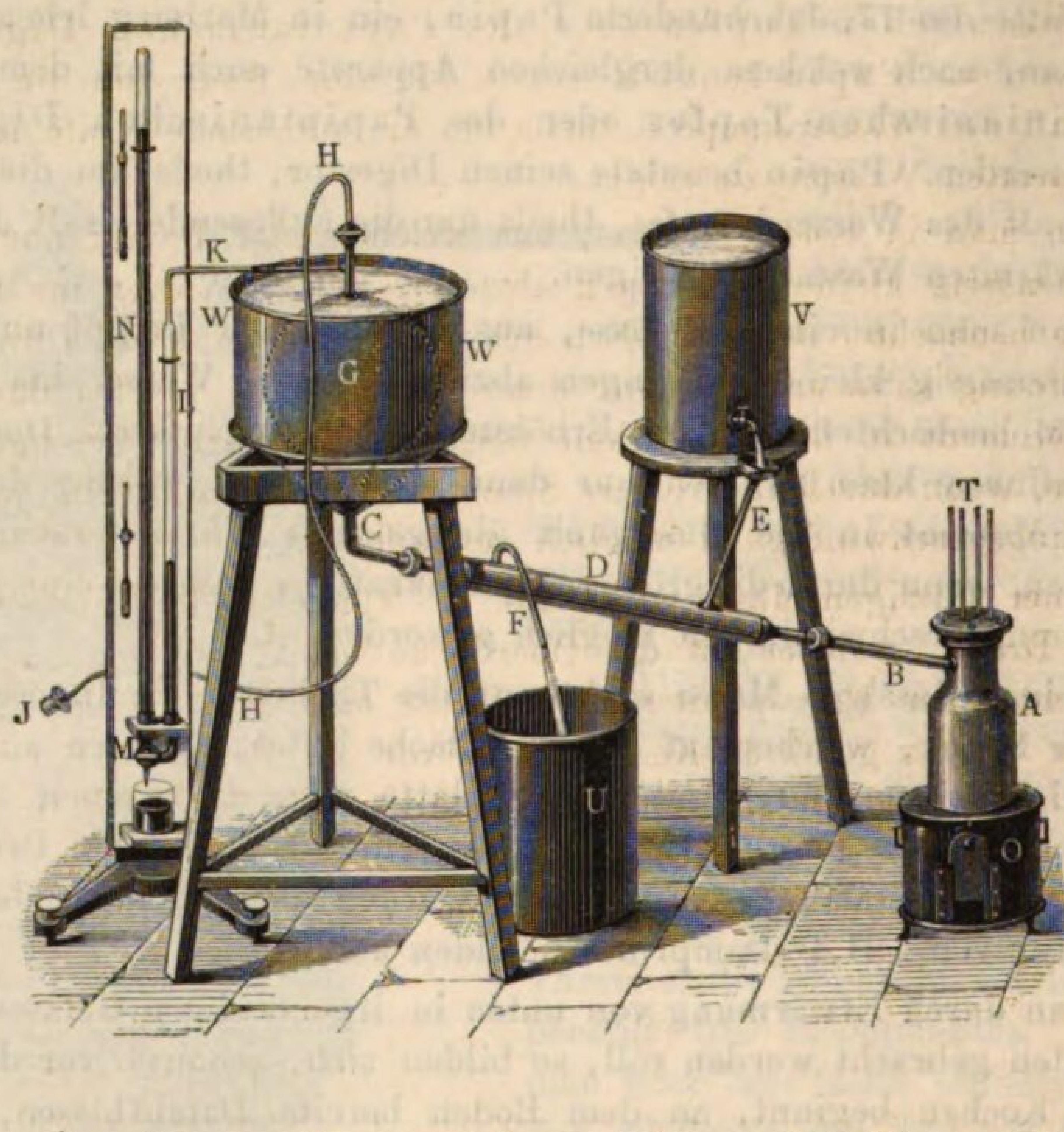
Sobald aber die Wassermasse des ganzen Gefässes einmal an jeder Stelle bis zu dem dem Druck entsprechenden Siedepunkte erwärmt ist, so nehmen die am Boden gebildeten Dampfblasen beim Aufsteigen durch die Wassermasse an Grösse zu, weil der auf ihnen lastende Druck geringer wird.

Nach diesen Auseinandersetzungen können wir nun auch die Methode erörtern, welche Regnault zur Bestimmung der Spannkraft des gesättigten Wasserdampfes für Temperaturen anwandte, die über 60^0 hinausgehen; dieselbe besteht im Wesentlichen darin, dass er mittelst einer Verdichtungs- oder Verdünnungsluftpumpe den Druck regulirte, welcher auf der Oberfläche des Wassers in einem Dampfkessel lastete und

dann die Temperatur beobachtete, bei welcher unter diesem Drucke das Sieden eintritt.

Durch den Deckel des kleinen kupfernen Dampfkessels *A*, Fig. 649,

Fig. 649.



gehen zwei unten geschlossene eiserne Röhren fast bis auf den Boden, zwei andere ungefähr bis in die Mitte herab. Diese Röhren sind zum Theil mit Quecksilber gefüllt, in welches die Thermometer eingetaucht werden, die zur Beobachtung der Temperatur des Wassers und des Dampfes in *A* dienen. Der nicht ganz zur Hälfte mit Wasser gefüllte Dampfkessel ist durch eine Röhre mit dem ungefähr 24 Liter haltenden Ballon *G* verbunden, die Verbindungsröhre aber ist mit einem Kühlrohre umgeben, so dass der in *A* entwickelte und durch den Einfluss des Kühlrohres wieder verdichtete Dampf in den Kessel zurückfliesst. Der Ballon *G* steht durch das Rohr *H* mit einer Luftpumpe in Verbindung, mittelst deren man die Luft in *G* nach Belieben verdichten oder verdünnen kann. Die Spannkraft der Luft in *G*, welche auch gleich dem Druck ist, welcher auf dem Wasser in *A* lastet, wird durch ein Manometer mit offenem Schenkel gemessen, welches auf der linken Seite unserer Figur sichtbar ist.

Der Ballon *G* ist mit Wasser umgeben, welches ihn auf constanter Temperatur erhält.

Hat man mittelst der Luftpumpe einen bestimmten, am Manometer abgelesenen Druck hergestellt, so wird das Wasser in *A* zum Sieden er-

hitzt. Die Thermometer steigen, bis das Sieden eingetreten ist, dann aber bleiben sie stundenlang constant, wenn das Sieden so lange unterhalten wird. — Auf diese Weise hat man also am Manometer die Spannkraft abgelesen, welche der Siedetemperatur im Kessel entspricht.

Der Apparat Fig. 649 diente nur zur Messung der Spannkraft von 42^0 bis 150^0; für höhere Temperaturen wurde ein nach dem gleichen Princip construirter, aber weit stärkerer Apparat angewendet, dessen offenes Manometer eine Höhe von 22 Metern hatte, also die Messung der Spannkräfte bis zu 30 Atmosphären gestattete.

Einfluss aufgelöster Substanzen auf den Siedepunkt. 235

Der Siedepunkt der Flüssigkeiten erleidet durch Substanzen, welche nur mechanisch in demselben suspendirt sind, keine Veränderung; eine solche Veränderung tritt aber ein, wenn sich die Theilchen des fremden Körpers chemisch mit der Flüssigkeit verbinden. Alle löslichen Salze z. B. erhöhen die Temperatur des Siedepunktes des Wassers. Der Dampf, welcher sich aus solchen Lösungen bildet, ist aber eben so rein, als ob er aus reinem Wasser sich gebildet hätte.

Die folgende Tabelle enthält nach den Versuchen von Legrand die Siedepunkte einiger gesättigter Lösungen.

Namen der Lösungen.	Siedepunkte.	Quantität des Salzes, welche 100 Theile Wasser sättigt.
Chlorsaures Kali	104,2	61,5
Chlorbarium	104,4	60,1
Kohlensaures Natron	104,6	48,5
Phosphorsaures Natron	106,5	113,2
Chlorkalium	108,3	59,1
Chlornatrium	108,4	41,2
Salzsaures Ammoniak	114,2	88,9
Neutrales weinsteinsaures Kali	114,67	269,2
Salpetersaures Kali	115,9	335,1
Chlorstrontium	117,6	117,5
Salpetersaures Natron	121,0	224,8
Essigsaures Natron	124,37	209,0
Kohlensaures Kali	133,0	205,0
Salpetersaurer Kalk	151,0	362,2
Essigsaures Kali	169,0	798,2
Chlorcalcium	179,5	325,0

Legrand hat sich nicht damit begnügt, die Siedepunkte der gesättigten wässerigen Lösungen zu bestimmen, sondern er machte auch zahlreiche und genaue Versuche, um die Salzmenge auszumitteln, welche man zu 100 Theilen Wasser setzen muss, damit der Siedepunkt um eine bestimmte Anzahl von Graden erhöht wird. Die folgende Tabelle giebt einen Auszug aus seiner Arbeit.

Erhöhung der Siedetemperatur in Graden.	Salpetersaures krystallisirtes Ammoniak.	Chlorcalcium.	Essigsaures Kali.	Salpetersaurer Kalk.	Kohlensaures Kali.	Essigsaures Natron.	Salpetersaures Natron.	Chlorstrontium.	Salpetersaures Kali.	Neutrales weinsteinsaures Kali.	Ammoniaksalz.	Chlornatrium.	Chlorkalium.	Phosphorsaur. Natron.	Kohlensaures Natron.	Chlorbarium.	Chlorsaures Kali.
1	10,0	10,0	10,5	15,0	13,0	9,9	9,3	16,7	12,2	26,9	7,8	7,7	9,0	23,0	14,4	19,6	14,64
2	20,5	16,5	20,0	25,3	22,5	17,6	18,7	25,2	26,4	47,2	13,9	13,4	17,1	42,8	26,7	32,5	29,28
3	31,3	21,6	28,6	34,4	31,0	23,1	28,2	32,1	42,2	65,0	19,7	18,4	24,5	60,6	36,8	44,5	43,92
4	42,4	25,8	36,4	42,6	38,8	30,5	37,9	37,9	59,6	82,3	25,2	23,1	31,4	76,8	44,7	56,0	58,56
5	53,8	29,4	43,4	50,4	46,1	36,7	47,7	43,4	78,3	100,1	30,5	27,7	37,8	91,8			
6	65,4	32,6	49,8	57,8	53,1	42,9	57,6	48,8	98,2	118,5	35,7	31,8	44,2	106,1			
7	77,3	35,6	55,8	64,9	59,6	49,3	67,7	54,0	119,0	137,3	41,3	35,8	50,5				
8	89,4	38,5	61,6	71,8	65,9	55,8	77,9	59,0	141,6	156,5	47,3	39,7	56,9				
9	101,9	41,3	67,4	78,6	71,9	62,4	88,3	63,9	163,0	176,1	53,5						
10	114,9	44,0	73,3	85,3	77,8	69,2	98,8	68,9	185,9	196,2	59,9						
11	128,4	46,8	79,3	91,9	83,0	76,2	109,5	74,1	209,2	216,8	66,4						
12	142,4	49,7	85,3	98,4	88,2	83,4	120,3	79,6	233,0	237,9	73,3						
13	156,9	52,6	91,4	104,8	93,2	90,9	131,3	85,3	257,6	259,5	80,5						
14	172,0	55,6	97,6	111,2	98,0	98,8	142,4	91,2	283,3	281,6	88,1						
15	188,0	58,6	103,9	117,5	102,8	107,1	153,7	97,5	310,2								
16	204,4	61,6	110,3	123,8	107,5	115,8	165,2	104,0	336,0								
17	221,4	64,6	116,8	130,0	112,3	125,1	176,8	110,9									
18	238,8	67,6	123,4	136,1	117,1	134,9	188,6										
19	256,8	70,6	130,1	142,1	122,0	145,2	200,5										
20	275,3	73,6	136,9	148,1	127,0	156,1	212,6										
22	314,0	79,8	150,8	160,1	137,0	179,3											
24	354,0	86,0	165,1	172,2	147,1	204,5											
26	396,0	92,2	180,1	184,5	157,3												
28	440,2	98,4	196,1	197,0	167,7												
30	487,4	104,6	213,0	209,5	178,1												
32	537,3	110,9	230,6	222,2	188,8												
34	590,0	117,2	248,7	235,1	199,6												
36	645,0	123,5	267,5	248,1													
38	705,5	129,9	287,3	261,3													
40	770,5	136,3	308,3	274,7													
42	840,6	142,8	330,8	288,4													
44	915,5	149,4	354,9	302,6													
46	995,5	156,2	380,6	317,4													
48	1081,5	163,2	407,9	333,2													
50	1173,5	170,5	436,9	351,2													
52	1273,0	178,1	467,6														
54	1383,0	186,0	500,0														
56	1504,0	194,3	534,1														
58	1637,0	203,0	569,9														
60	1775,0	212,1	607,4														
62	1923,0	221,6	646,0														
64	2084,0	231,5	687,0														
66	,,	241,9	730,4														
68	,,	252,8	775,0														
70	,,	264,2															
72	,,	276,1															
74	,,	288,5															
76	,,	301,4															
78	,,	314,8															
80	unendl.																

Rudberg hat durch genaue Versuche nachgewiesen, dass die Temperatur der aus einer siedenden Salzlösung sich entwickelnden Dämpfe vollkommen der Temperatur derjenigen Dämpfe gleich ist, welche unter gleichem Drucke aus reinem Wasser aufsteigen, die Temperatur der siedenden Salzlösung mag noch so viel die des siedenden Wassers übersteigen.

Man kann sich davon leicht mit Hülfe des Apparates Fig. 650 oder eines ähnlichen überzeugen. Das von den Wasserdämpfen umgebene Thermometer zeigt nur 100°, wenn auch die Temperatur der im unteren Theile des Apparates befindlichen kochenden Salzlösung weit höher ist.

Regnault, Magnus und Wüllner bestreiten die Richtigkeit des Rudberg'schen Satzes; sie sind der Meinung, dass man aus der Angabe des Thermometers, an dessen Gefäss beständig condensirtes Wasser herabtropft, nicht auf die Temperatur der es umgebenden Dämpfe schliessen dürfe. (Wüllner's Lehrbuch der Experimentalphysik II. S. 133 u. 173.)

Fig. 650.



Die Erhöhung des Siedepunktes durch Salze, welche im Wasser aufgelöst sind, ist offenbar die Folge einer Anziehung, welche zwischen den Salz- und Wassertheilchen stattfindet, in Folge deren solche Salze ja auch die Wasserdämpfe aus einer feuchten Atmosphäre zu absorbiren vermögen; ferner hängt damit die Thatsache zusammen, dass die Spannkraft der Dämpfe, welche sich aus einer Salzlösung entwickeln, stets geringer ist als die Spannkraft der Dämpfe, welche sich unter sonst gleichen Umständen über reinem Wasser bilden.

Diesen letzten Punkt hat v. Babo zum Gegenstand einer besonderen Untersuchung gemacht. Er stellte Dampfbarometer her, welche über dem Quecksilber statt des reinen Wassers eine Salzlösung enthielten und beobachtete die Spannkraft der über der Salzlösung bei verschiedenen Temperaturen sich bildenden Dämpfe.

Für eine Chlorcalciumlösung z. B., deren Siedepunkt 110° war, fand er bei den in der ersten Columne der Tabelle (a. f. S.) angegebenen Wärmegraden die in der zweiten Verticalreihe verzeichneten Werthe der Spannkraft, während die denselben Temperaturen entsprechende Spannkraft des gesättigten Wasserdampfes sich in der dritten Columne findet.

Dividirt man die Zahlenwerthe der zweiten Columne durch die danebenstehenden Werthe der dritten, so erhält man die in der letzten Verticalreihe stehenden Quotienten, welche, den ersten etwa ausgenommen, sehr nahe gleich sind; zwischen der Spannkraft des Dampfes, welcher sich aus reinem Wasser, und der Spannkraft desjenigen, welcher sich unter sonst gleichen Umständen aus einer Salzlösung entwickelt, besteht

Temperatur.	Spannkraft des Wasserdampfes über		q.
	der Chlorcalciumlösung.	reinem Wasser.	
19° C.	9	16,3	0,55
35	26,8	41,8	0,641
59	92,8	141,8	0,654
65	121,6	186,6	0,652
78	212	326,8	0,645
			Mittel: 0,648

demnach ein constantes Verhältniss, welches sich jedoch mit der Natur des aufgelösten Salzes sowohl als auch mit dem Concentrationsgrade der Flüssigkeit ändert.

Bezeichnet man mit S die Spannkraft des gesättigten Wasserdampfes für eine bestimmte Temperatur, mit S' die Spannkraft des Wasserdampfes, welcher sich bei der gleichen Temperatur über einer Salzlösung bildet, so ist also nach v. Babo's Versuchen

$$S' = jS$$

wo j einen Factor bezeichnet, welcher jedenfalls kleiner ist als 1, welcher aber von einem Salz zum anderen variirt.

Auch Wüllner (Lehrbuch II. 170) hat über diesen Gegenstand Versuche angestellt. Bezeichnet man mit v die Verminderung, welche die Spannkraft des Wasserdampfes durch den Salzgehalt der Lösung erfährt, so ist

$$S' = S - v.$$

Für einige Salze, z. B. für Kochsalz, Glaubersalz u. s. w., ist die Spannkraftsverminderung einfach der Spannkraft S proportional, also $v = aS$, oder

$$S' = S(1 - a),$$

was mit dem Babo'schen Gesetz übereinstimmt, da ja in der Wüllner'schen Formel der constante Factor nur in etwas anderer Gestalt auftritt ($1 - a$ statt j). Für gewisse Salze aber, wie z. B. für Kalisalpeter, nimmt die Verminderung v in rascherem Verhältniss zu als die Spannkraft S, so dass

$$v = aS + bS^2$$

zu setzen ist, für andere Salze dagegen, wie beim schwefelsauren Kali, nimmt v in weniger raschem Verhältniss zu als S, so dass

$$v = aS - bS^2$$

gesetzt werden muss.

Ferner fand Wüllner, dass der Werth von v der Menge der aufgelösten Substanz proportional ist, so fand er z. B. für

10 Theile Kochsalz in 100 Wasser		$v = 0,06$
20 „ „ „ „	„	$v = 0,12$
30 „ „ „ „	„	$v = 0,18.$

Wenn eine Flüssigkeit mit irgend einer anderen mehr oder weniger flüchtigen gemischt wird, so tritt ebenfalls eine Veränderung des Siedepunktes ein. So wird durch Alkohol der Siedepunkt des Wassers erniedrigt, durch Schwefelsäure aber erhöht.

Anomale Variationen des Siedepunktes. Man beobachtet öfters, dass die blosse Berührung mit andern Körpern eine Verzögerung des Siedepunktes bewirkt. In einem Metallgefässe siedet das Wasser vollkommen regelmässig und bei der dem Druck entsprechenden Temperatur. Die an allen Punkten der erhitzten Gefässwand sich bildenden Dampfbläschen sind sehr klein und folgen einander ohne Unterbrechung. In Gefässen von Glas oder Porcellan dagegen bilden sich die Dampfblasen nur an einzelnen Punkten, welche immer dieselben bleiben, sie sind grösser und folgen weniger rasch auf einander; die Temperatur des siedenden Wassers ist aber höher, und zwar oft bis zu 1° höher, als die des unter sonst gleichen Umständen in Metallgefässen siedenden Wassers. 236

Das Sieden der Schwefelsäure geht in Glasgefässen nur stossweise vor sich. Die Temperatur steigt, bis sich am Boden des Gefässes eine grosse Dampfblase bildet, deren Entstehung von einer Temperaturerniedrigung begleitet ist. Man vermeidet solche Unregelmässigkeiten des Siedens dadurch, dass man Platindraht auf den Boden des die Flüssigkeit enthaltenden Gefässes wirft.

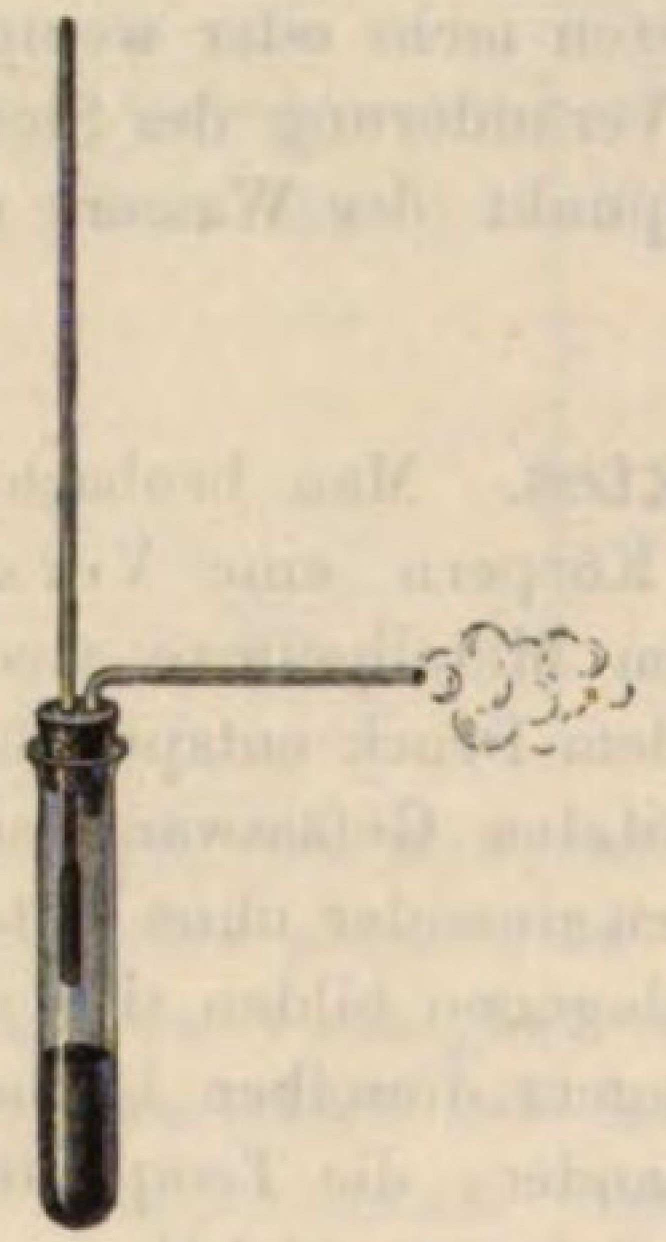
Luftfreies und in luftleeren Röhren enthaltenes Wasser kommt erst bei sehr hohen Temperaturen ins Kochen. Donney erwärmte einen Wasserhammer bis auf 150°, ohne dass das Wasser ins Kochen gerieth, welches sich aber nun explosionartig einstellte und das Glasgefäss zertrümmerte.

Man sucht diese Erscheinungen durch eine Adhäsion der Flüssigkeit zur Gefässwand zu erklären.

Nach Dufour kann eine Flüssigkeit weit über den normalen Siedepunkt erwärmt werden, ohne ins Sieden zu gerathen, wenn sie ringsum von einer anderen Flüssigkeit umgeben ist. Wird Wasser tropfenweise zu 105° bis 110° heissem Leinöl gesetzt, so fallen die Wassertropfen langsam durch das Oel ohne Dampfbildung zu zeigen, welche erst und zwar lebhaft eintritt, wenn der Tropfen mit dem Boden des Gefässes in Berührung kommt. Durch Zusatz von etwas fettem Oel zu Nelkenöl lässt sich eine Flüssigkeit erhalten, in welcher Wasserkugeln von 1 bis 10^{mm} Durchmesser frei schweben. Bei vorsichtigem Erwärmen kann die Temperatur auf 120° bis 170° gesteigert werden, ohne dass die Wasserkugeln ins Kochen kommen. Dies tritt aber mit Heftigkeit ein, sobald

ein solcher überhitzter Wassertropfen mit einem festen Körper, etwa mit einem Glas- oder Holzstab in Berührung kommt.

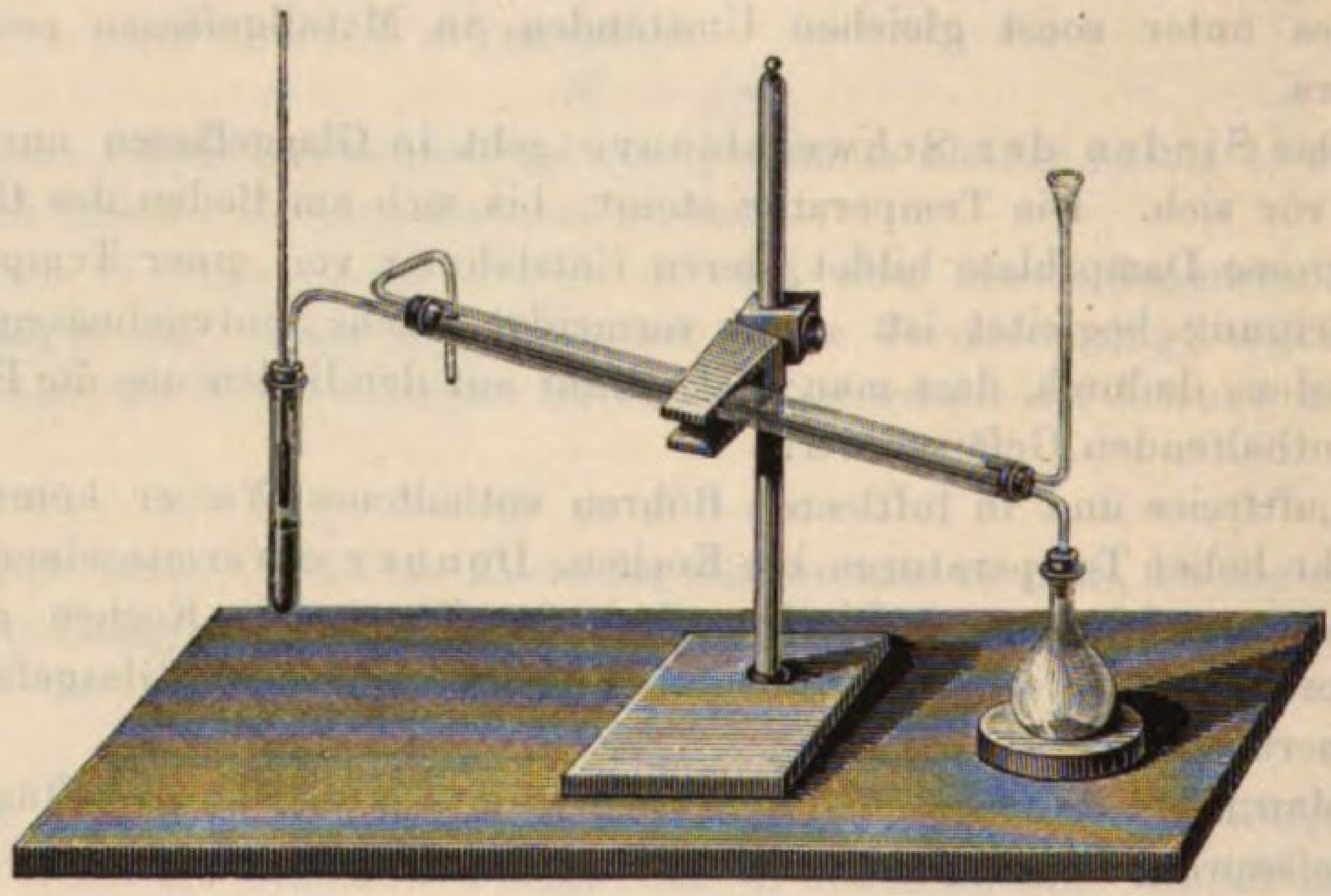
Fig. 651.



In ähnlicher Weise lässt sich **Chloroform** (für sich allein bei 61⁰ siedend) in passend concentrirter Chlorzinklösung auf 90⁰ bis 100⁰ erwärmen, ohne ins Sieden zu gerathen.

237 **Siedepunkte verschiedener Flüssigkeiten.** Um den normalen Siedepunkt einer Flüssigkeit zu ermitteln, kann man denselben Apparat anwenden, den man auch gebraucht, um den Siedepunkt des Wassers an einem Thermometerrohre zu markiren. Wenn nur geringe Flüssigkeitsmengen zu Gebote stehen, kann man denselben auch durch den Fig. 651 abgebildeten Apparat ersetzen oder auch durch den Fig. 652, wenn man die Flüssigkeit wieder gewinnen will.

Fig. 652.



Die folgende Tabelle enthält die Siedepunkte mehrerer Flüssigkeiten für einen mittleren Barometerstand von 760^{mm}.

Cyangas	— 18	Grad.	Alkohol	77,5	Grad.
Schweflige Säure .	— 10	„	Benzin (Benzol, $C_{12}H_6$)	80,0	„
Chloräthyl . . .	+ 12,5	„	Terpentinöl	157	„
Schwefeläther . .	37,8	„	Phosphor	290	„
Schwefelkohlenstoff	47,0	„	Schwefel	299	„
Holzgeist . . .	59	„	Schwefelsäure . . .	310	„
Chloroform . . .	60,5	„	Quecksilber	350	„

Der Leidenfrost'sche Tropfen. Die meisten Flüssigkeiten zeigen, mit heissen Metallflächen in Berührung gebracht, die eigenthümliche Erscheinung, dass sie nicht ins Kochen kommen. Man kann den Versuch leicht anstellen, wenn man eine Metallschale (von Silber, Kupfer oder Platin) über einer Spirituslampe bis zum Rothglühen erhitzt und dann mittelst einer Pipette einige Tropfen Wasser in die glühende Schale laufen lässt. Die Flüssigkeit rundet sich ab wie Quecksilber in einem Glasgefässe, Fig. 653; sie nimmt eine rasche drehende Bewegung an, 238

Fig. 653.



ohne ins Kochen zu kommen und ohne merklich an Volumen abzunehmen. Wenn die Flamme der Spirituslampe gross genug ist, um ein lebhaftes Glühen der Metallschale zu erhalten, so kann man nach und nach eine ziemlich beträchtliche Menge Wasser in die Schale giessen, ohne dass es ins Sieden kommt. Wenn man aber die Flamme unter der Schale auslöscht und diese etwas erkalten lässt, so beginnt das Wasser plötzlich mit der grössten Heftigkeit zu kochen, so dass es nach allen Richtungen hin fortgeschleudert wird. Diese Erscheinung wurde zuerst von Leidenfrost beobachtet, daher der Name des Leidenfrost'schen Tropfens.

Die Ursache dieses sonderbaren Phänomens ist wohl keine andere als dass das glühende Metall vom Wasser nicht benetzt wird, dass also die Berührung zwischen dem heissen Metall und der Flüssigkeit nicht innig genug ist, um einen merklichen Uebergang der Wärme vom Metall zum Wasser zu gestatten. Bei abnehmender Hitze stellt sich die Berührung wieder her, daher die heftige plötzliche Dampfbildung.

Auch unter anderen Umständen, bei beträchtlicheren Massen, ist diese Erscheinung beobachtet worden, z. B. im Papinianischen Topfe und in Kesseln von Dampfmaschinen; sie ist die Ursache gefährlicher Explosionen. Wenn nämlich die Oberfläche des Wassers in einem Dampfkessel so weit gesunken ist, dass ein Theil der Feuerfläche nicht mehr mit Wasser in Berührung ist, so kann das Metall an dieser Stelle glühend werden. Wenn nun von Neuem Wasser in den Kessel zufliesst, so sind die Bedingungen zum Leidenfrost'schen Phänomen gegeben; einige Zeit bleibt das Wasser mit der glühenden Fläche in Berührung, ohne hier zu kochen; nachdem aber die Kesselwände sich etwas abgekühlt haben, beginnt auf einmal die Dampfbildung mit solcher Heftigkeit, dass die Dämpfe nicht einmal durch das geöffnete Sicherheitsventil schnell genug entweichen können; es erfolgt eine Explosion.

Eine Erscheinung, welche auch hierher gehört, ist von Perkins beobachtet worden. Bei der Rothglühhitze kann man nämlich mehrere kleine Oeffnungen in die Wände von Dampfkesseln machen, ohne dass Dampf entweicht, bei niedriger Temperatur aber strömt der Dampf mit Gewalt hervor.

Eine besondere Aufmerksamkeit hat Boutigny diesem Gegenstande zugewendet, welcher seine hierher gehörigen Versuche sowohl wie auch

seine theoretischen Ansichten darüber in einem besonderen Werke (*Etudes sur les corps à l'état sphéroïdal*, 3. Aufl., Paris 1857) veröffentlicht hat.

Nach Boutigny lässt sich das Leidenfrost'sche Phänomen mit allen Flüssigkeiten, der früheren Meinung entgegen, sogar mit fetten Oelen, z. B. dem Ricinusöl, hervorbringen; jedoch muss die Temperatur der Schale um so höher sein, je höher die Temperatur liegt, bei welcher eine Verflüchtigung der Flüssigkeit stattfindet. Während der Versuch in einer erhitzten Porcellanschale mit Wasser nicht leicht gelingt, ist dies mit Aether ohne alle Schwierigkeit der Fall; mit flüssiger schwefliger Säure gelingt er in einem Platintiegel, welcher in kochendes Wasser eingetaucht ist, dessen Temperatur also 100^0 nicht übersteigt. Aether bildet selbst auf heissem Wasser einen Leidenfrost'schen Tropfen. Wie gering der Zufluss von Wärme aus dem heissen Metall in die in Form eines grossen Tropfens auf ihm spielende Flüssigkeit ist, geht daraus hervor, dass selbst Flüssigkeiten, deren Siedepunkt unter 0^0 liegt, wie z. B. schweflige Säure, auf eine heisse Metallfläche geträufelt, auf derselben einen ruhig spielenden Tropfen bilden, welcher nicht siedet, sondern nur allmälig verdampft. Die Temperatur der flüssigen schwefligen Säure ist unter diesen Umständen natürlich sehr gering, weil sonst augenblickliches Sieden eintreten müsste; fügt man einige Tropfen Wasser hinzu, so werden dieselben augenblicklich in Eis verwandelt.

Wenn wasserfreie schweflige Säure einen Leidenfrost'schen Tropfen in einem Platintiegel bildet, welcher in kochendes Wasser eingesenkt ist, so absorbirt sie rasch Wasserdampf, und während die schweflige Säure verdampft, ist nach kurzer Zeit das absorbirte Wasser in Eis verwandelt.

Faraday hat mit Hülfe fester Kohlensäure selbst Quecksilber in einem glühenden Tiegel zum Gefrieren gebracht.

Fig. 654 stellt in $^1/_2$ der natürlichen Grösse die Zusammenstellung des Apparates dar, mit welchem v. Babo diesen schönen Versuch stets mit sicherem Erfolge ausführt. In einen glühenden Platintiegel, dessen Oeffnung ungefähr 4 Centimeter beträgt, wird ein Gemenge von fester Kohlensäure und Aether aus einem etwas weiten Reagenzröhrchen eingegossen. Um das Röhrchen besser handhaben zu können, ist es von einem Drahtringe gehalten, dessen Enden zu einem Drahtstiele zusammengedreht sind. — Nachdem das Gemenge in den glühenden Tiegel eingebracht worden ist, wird ein kleinerer gleichfalls durch einen Drahtring und einen Drahtstiel getragener Platintiegel, welcher ungefähr zur Hälfte

Fig. 654.



$\frac{1}{2}$

mit Quecksilber gefüllt ist, in das Gemenge eingesenkt, wie unsere Figur zeigt. Nach einigen Secunden ist das Quecksilber erstarrt. Man kann den aus der Kältemischung herausgehobenen kleinen Platintiegel umkehren, ohne dass das Quecksilber ausfliesst.

Wenn die aus dem grossen Tiegel etwa entweichenden Aetherdämpfe sich entzünden, so ist dieser Umstand für das Gelingen des Versuchs durchaus nicht störend.

Die niedrige Temperatur der schwefligen Säure und der festen Kohlensäure findet erst in späteren Paragraphen, welche von der Verdampfungswärme handeln, ihre volle Erklärung.

Der sphäroidale Zustand. Boutigny, welcher das Verhalten flüssiger Körper gegen erhitzte Gefässwände nach den verschiedensten Seiten hin studirt hat, scheint der Meinung zu sein, dass die Flüssigkeit in solchen Fällen sich in einem von dem normalen abweichenden Zustande befinde, welchen er als sphäroidalen Zustand bezeichnet. 239

Einige Physiker betrachten als Ursache der im vorigen Paragraphen besprochenen Tropfenbildung auf heissen Flächen eine Dampfschicht, welche sich alsbald zwischen dem Metall und der Flüssigkeit bilden soll, welche die Berührung hindert und dadurch den Uebergang der Wärme erschwert. Andere dagegen sind der Ansicht, dass das heisse Metall abstossend auf die Flüssigkeit wirke.

Für das Getrenntsein des Leidenfrost'schen Tropfens von seiner Unterlage spricht auch die Beobachtung Poggendorff's, dass der elektrische Strom zwischen beiden nicht übergehe; Buff hat jedoch gezeigt, dass bei grösseren Tropfen gut leitender Flüssigkeiten der elektrische Strom zwar bedeutend geschwächt, aber doch nicht vollkommen unterbrochen werde (Annal. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXVII).

Buff giebt von dem Leidenfrost'schen Phänomen folgende Erklärung. Die Adhäsion einer Gefässwand zu der sie berührenden Flüssigkeit vermindert sich bei steigender Temperatur ebenso wie die Cohäsion der Flüssigkeit selbst. Dass das Wasser eine Gefässwand benetzt, rührt bekanntlich daher, dass die Adhäsion zwischen Wasser und der Gefässwand grösser ist, als die Cohäsion der Wassertheilchen unter einander. Dieses Uebergewicht der Adhäsion findet gewöhnlich auch dann noch statt, wenn Gefässwand und Flüssigkeit gleichförmig erwärmt werden. Die Innenfläche einer Abdampfschale besitzt eine nur wenig höhere Temperatur als die sie benetzende Flüssigkeit. Kann aber diese Innenfläche bedeutend stärker erhitzt werden, als die Flüssigkeit, so muss auch die Adhäsion stärker abnehmen als die Cohäsion der Flüssigkeitstheilchen. Ist die Temperaturdifferenz der Gefässwand und der Flüssigkeit über eine gewisse Gränze hinaus gewachsen, so überwiegt die Cohäsion der Flüssigkeitstheilchen die Adhäsion zur Gefässwand, es muss also nach den bekannten Capillargesetzen die Benetzung aufhören und der Tropfen entstehen.

Eine Flüssigkeit in Tropfenform steht mit der Unterlage, auf welcher sie ruht, nicht in so inniger Berührung wie beim Zustande der Benetzung.

Leidenfrost'sche Tropfen von mässiger Ausdehnung in flachen Metallschalen (wie Fig. 653, Seite 743) erzeugt, nehmen eine eigenthümliche sternförmige Gestalt an; dieselbe erklärt sich dadurch, dass die an der unteren Fläche erzeugten Dämpfe nicht ganz frei hervortreten können, sondern sich gleichsam Auswege bohren und daher die Flüssigkeit in diesen Richtungen vor sich herdrängen müssen, wodurch sich dann der Tropfen nothwendiger Weise an anderen Stellen einbiegen muss.

In seinem oben citirten Werke bringt Boutigny einen Versuch in Erinnerung, welchen die Arbeiter in Metallgiessereien öfters ausführen, dass sie nämlich die befeuchtete Hand für einige Momente in geschmolzenes Gusseisen oder in geschmolzene Bronze eintauchen ohne sich zu verbrennen. Im 78. Bande von Poggendorff's Annalen berichtet Plücker über gelungene Wiederholungen dieses Versuchs.

Eine leicht überall zu wiederholende Form des Versuchs ist die, dass man die (am besten mit Aether) befeuchtete Hand in geschmolzenes Blei taucht. Dabei ist jedoch die Vorsicht zu beobachten, dass man die Oberfläche der geschmolzenen Masse von der sich gewöhnlich darauf bildenden Oxydschicht befreit, indem sich dieselbe leicht an die Haut anhängen und eine Verbrennung veranlassen kann.

Es unterliegt wohl keinem Zweifel, dass auch dieser merkwürdige Versuch in das Gebiet des Leidenfrost'schen Phänomens gehört.

240 **Verdunstung** nennt man die Bildung von Dampf an der freien Oberfläche der Flüssigkeit, während, wie wir gesehen haben, das Kochen darin besteht, dass sich auch im Inneren der flüssigen Masse oder vielmehr an dem erhitzten Boden des Gefässes, welches die Flüssigkeit enthält, Dampfblasen bilden, welche durch ihr Aufsteigen in der Flüssigkeit dieselbe in Wallung bringt, und, an der Oberfläche derselben angekommen, ihren gasförmigen Inhalt in der Luft verbreiten.

An der freien Oberfläche des Wassers in offenen Gefässen, an der Oberfläche der Flüsse, Seen und Meere, am feuchten Boden u. s. w. kann nur dann eine Verdampfung stattfinden, wenn die über ihr befindliche Luftmasse nicht mit Wasserdampf gesättigt ist.

In einem lufterfüllten Raum kann sich, wie wir in §. 231 gesehen haben, eben so viel Wasserdampf bilden, wie bei gleicher Temperatur in einem gleich grossen luftleeren Raume; im luftleeren Raume geht eben die Dampfbildung momentan vor sich, während sich die Dämpfe im lufterfüllten Raume nur allmälig verbreiten können. Die Luft bildet eben gleichsam ein mechanisches Hinderniss für die schnelle Verbreitung des Wasserdampfes. In einer vollkommen ruhigen Atmosphäre geht deshalb die Verdunstung nur langsam vor sich, während sie bei bewegter Luft weit rascher erfolgt, indem die Flüssigkeit stets mit neuen Luftschichten

in Berührung kommt, die nicht mit Dampf gesättigt sind. Das Wasser verdunstet rasch, wenn ein trockener Wind mit Lebhaftigkeit weht.

Die Schnelligkeit der Verdunstung hängt nicht allein von der Bewegung der Luft ab, sondern auch von der Tension des Dampfes, oder vielmehr von der Differenz zwischen dem Maximum der Spannkraft, welche dem Wasserdampfe bei der herrschenden Temperatur zukommt, und der Tension des Wasserdampfes, welcher schon in der Luft enthalten ist. Aus den Versuchen, welche Dalton über diesen Gegenstand anstellte, geht hervor, dass die Menge der Flüssigkeit, welche in einer gegebenen Zeit verdunsten kann, stets dieser Differenz der Spannkräfte proportional ist. Bei gleicher Oberfläche wird also in einer vollkommen trockenen Luft bei einer Temperatur von 11° gerade eben so viel Wasser verdunsten, als während derselben Zeit bei 30° in einer Luft, welche schon Wasserdampf von 20 Millimeter Spannkraft enthält.

Es ist wohl kaum nöthig zu bemerken, dass unter übrigens gleichen Umständen die Wassermenge, welche in einer gegebenen Zeit verdunstet, der Grösse der Oberfläche proportional ist, an welcher die Verdunstung stattfindet.

Alle übrigen Flüssigkeiten verdunsten an der freien Luft nach denselben Principien wie das Wasser, und zwar geht die Verdunstung stets um so rascher vor sich, je niedriger der Siedepunkt der verdampfenden Flüssigkeit ist. So verdunstet Weingeist rascher wie Wasser, und Aether rascher wie Weingeist.

Wir werden in der Meteorologie alle die Phänomene der Natur kennen lernen, welche von der Bildung des Wasserdampfes, seiner Suspension in der Atmosphäre und seiner Condensation in Gestalt von Regen, Thau, Reif u. s. w. abhängen.

Latente Wärme der Dämpfe. Wenn eine Flüssigkeit ver- 241
dampft, so muss sie Wärme absorbiren; diese beim Verdampfen absorbirte Wärme ist für das Gefühl und das Thermometer eben so verschwunden, wie die Wärme, welche beim Schmelzen gebunden wird.

Dass bei der Dampfbildung Wärme gebunden wird, geht schon daraus hervor, dass die Temperatur einer Flüssigkeit während des Kochens unverändert bleibt. Die Temperatur des in einem offenen Gefäss siedenden Wassers bleibt 100°, wie sehr wir auch das Feuer verstärken mögen; alle Wärme, welche man dem siedenden Wasser zuführt, dient nur dazu, das Wasser von 100° in Dampf von 100° zu verwandeln.

Das Binden der Wärme beim Verdampfen von Flüssigkeiten lässt sich leicht dem Gefühle merklich machen; man giesst nur einige Tropfen einer leicht verdampfenden Flüssigkeit, etwa Weingeist oder noch besser Schwefeläther, auf die Hand, so wird man ein Gefühl von Kälte haben, weil der Hand die zum Verdampfen der Flüssigkeit nöthige Wärme entzogen wird. Wenn man die Kugel eines Thermometers mit Baumwolle umwickelt, diese mit Schwefeläther betröpfelt und durch rasches Hin-

und Herschwenken die Verdunstung beschleunigt, so sinkt das Thermometer bis unter den Gefrierpunkt.

Wenn wir an heissen Tagen in Zugluft treten, so fühlen wir alsbald eine erfrischende Kühle. Es ist dies keineswegs die Folge davon, dass uns der Zug kalte Luft zuführt; die an uns vorübergehende Luft mag, wie wir uns durch das Thermometer überzeugen können, sehr warm sein und der Zug bringt uns dennoch diese Abkühlung, weil er eine lebhafte Verdunstung auf der Haut erzeugt. Wir haben das Gefühl einer drückenden Schwüle selbst bei mässiger Temperatur, wenn wir uns in einer mit Feuchtigkeit gesättigten Atmosphäre befinden, in welcher keine Verdunstung mehr stattfinden kann.

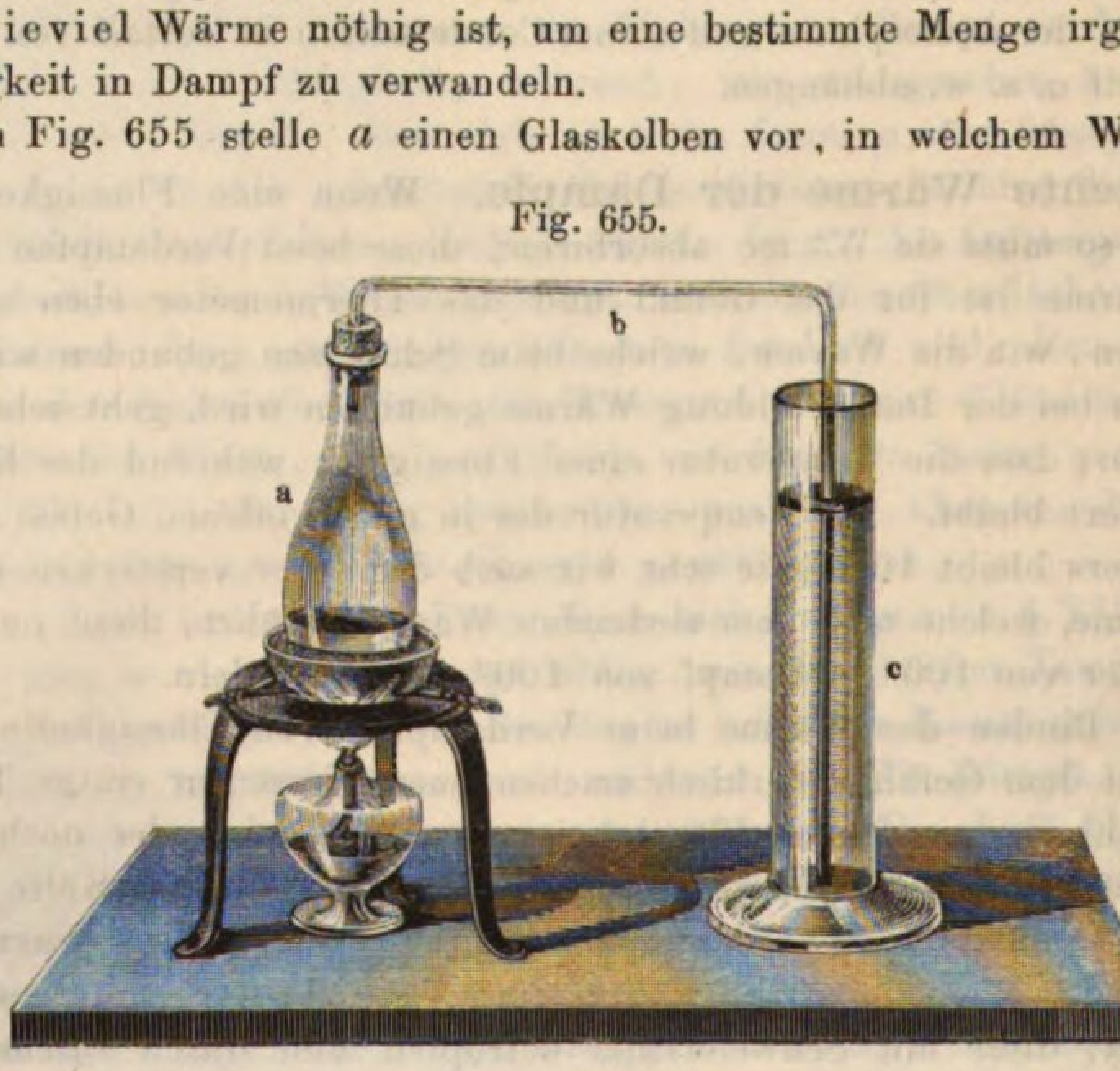
Die Alcarazzas, deren man sich in Spanien bedient, um Wasser und geistige Getränke kühl zu erhalten, sind poröse Thongefässe, welche der Verdunstung eine grosse Oberfläche bieten. Die im Inneren befindliche Flüssigkeit sickert durch die Wände durch, sie verdampft rasch in einer etwas bewegten Luft, namentlich wenn man diese Gefässe unter den Bäumen, an welchen sie aufgehängt sind, hin- und herschwingen lässt; auf diese Weise wird das Gefäss sammt der darin enthaltenen Flüssigkeit auf einer Temperatur erhalten, welche bedeutend tiefer ist, als die der umgebenden Luft.

Man kann den Versuch mit porösen Thonzellen machen, wie sie zu der Bunsen'schen Zinkkohlenkette gebraucht werden.

Nachdem wir nun die Bindung der Wärme bei der Dampfbildung der Art nach kennen gelernt haben, kommt es darauf an, die latente Wärme der Dämpfe auch der Grösse nach zu bestimmen, d. h. zu ermitteln, wieviel Wärme nöthig ist, um eine bestimmte Menge irgend einer Flüssigkeit in Dampf zu verwandeln.

In Fig. 655 stelle *a* einen Glaskolben vor, in welchem Wasser mit

Fig. 655.



Hülfe einer Weingeistlampe kochend erhalten wird; wenn nun die sich bildenden Dämpfe durch ein Glasrohr *b* in ein cylindrisches Gefäss *c* geleitet werden, welches mit kaltem Wasser gefüllt ist, so werden die Dämpfe hier verdichtet; die Wärme also, welche bei der Bildung der Dämpfe in *a* gebunden wurde, muss in *c* wieder frei werden, wodurch das kalte Wasser in *c* allmälig erwärmt wird. Aus der hier hervorgebrachten Temperaturerhöhung kann man aber auf die Grösse der latenten Wärme der Dämpfe schliessen.

Nehmen wir an, das Kochen im Gefässe *a* habe schon einige Zeit gedauert, so dass alle Luft aus demselben ausgetrieben ist, und nun erst tauche man das Ende des gekrümmten Rohrs in das kalte Wasser des Cylinders *c*, so werden alle Dampfblasen alsbald verdichtet, so wie sie mit dem kalten Wasser in Berührung kommen. In dem Maasse aber, als das Wasser in *c* wärmer wird, werden die Dampfblasen grösser, bis endlich, wenn auch das Wasser in *c* zur Siedehitze erwärmt ist, die Dampfblasen unverdichtet durch die ganze Flüssigkeitsmasse aufsteigen, also in *c* selbst ein förmliches Kochen stattfindet. In dem Augenblicke, in welchem das Kochen in *c* beginnt, wird der Versuch unterbrochen, indem man das Kochgefäss *a* wegnimmt.

Gesetzt nun, in *c* hätten sich zu Anfang des Versuchs 11 Cubikzoll Wasser von 0^0 befunden, so wird der Cylinder jetzt, nach Beendigung des Versuchs, 13 Cubikzoll Wasser von 100^0 enthalten; es sind also 2 Cubikzoll Wasser hinzugekommen. Diese zwei Cubikzoll Wasser sind im Gefässe *a* verdampft und im Cylinder *c* verdichtet worden; die latente Wärme, welche in *a* gebunden wurde, ist in *c* wieder frei geworden und hat hier die 11 Cubikzoll Wasser von 0^0 auf 100^0 erwärmt; dieselbe Wärmemenge also, welche bei der Verdampfung von 2 Cubikzoll Wasser absorbirt wird, reicht hin, um die Temperatur von 11 Cubikzoll Wasser von 0^0 bis 100^0 zu erhöhen. Nun aber verhalten sich 2 zu 11 wie 1 zu 5,5; wir können das Resultat unseres Versuches also auch folgendermaassen ausdrücken: Die Wärmemenge, welche nöthig ist, um eine bestimmte Quantität Wasser von 100^0 in Dampf von 100^0 zu verwandeln, reicht hin, um die Temperatur einer $5^1/_2$ mal so grossen Wassermasse von 0^0 auf 100^0 zu erhöhen.

Wir haben oben angeführt, dass man als Einheit der Wärmemengen diejenige Wärmequantität annimmt, welche erforderlich ist, um die Temperatur von 1 Gramm Wasser um 1^0 C. zu erhöhen; um die Temperatur von $5^1/_2$ Gramm Wasser um 1^0 zu erhöhen, sind also 5,5, und um die Temperatur dieser Wassermasse um 100^0 zu erhöhen, sind 550 solcher Wärmeeinheiten nöthig.

Die latente Wärme von 1 Gramm Wasserdampf ist demnach gleich 550 Wärmeeinheiten.

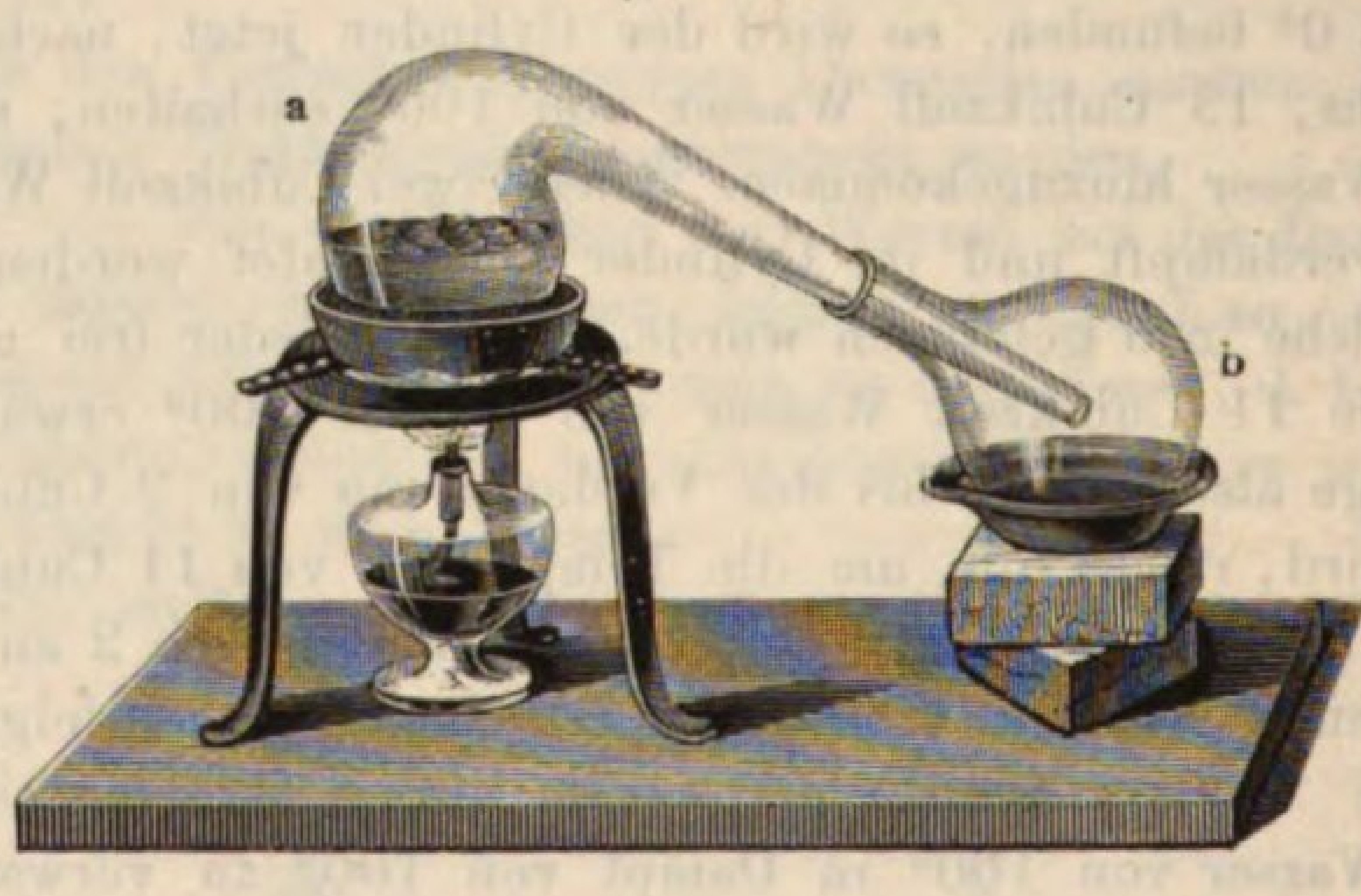
Der eben angeführte Versuch ist nicht geeignet, die latente Wärme des Wasserdampfes genau zu bestimmen, er wird immer mehr oder weniger unrichtige Resultate geben; er ist aber sehr geeignet, den Zusam-

menhang der Sache recht anschaulich zu machen. Was die Resultate dieses Versuchs besonders ungenau macht, ist der Umstand, dass die hohe Temperatur, zu welcher man das Wasser im Cylinder *c* erheben muss, einen bedeutenden Wärmeverlust an die Umgebung zur Folge hat; dann aber wird auch eine nicht unbedeutende Quantität Wasserdampf schon im Rohre verdichtet, giebt hier schon seine frei werdende Wärme an die Luft ab und kommt als Wasser im Cylinder *c* an; man begreift also leicht, dass, bis das Wasser *c* ins Kochen kommt, mehr Wasser aus dem Gefässe *a* herübergekommen sein wird, als es der Fall sein würde, wenn diese beiden Fehlerquellen nicht vorhanden wären; dieser Versuch wird also in der Regel einen zu kleinen Werth für die latente Wärme des Wasserdampfes geben. Wir werden sogleich genauere Methoden zur Bestimmung dieser Grösse kennen lernen.

Bei der Destillation werden die in irgend einem Gefässe durch Erwärmung gebildeten Dämpfe an einen Ort geleitet, welcher durch kaltes Wasser beständig abgekühlt wird, wodurch dann die Dämpfe wieder condensirt, d. h. in tropfbare Flüssigkeit verwandelt werden.

Eine der einfachsten Vorrichtungen zur Destillation ist die in Fig. 656 abgebildete. Die durch irgend welche fremde, weniger flüchtige

Fig. 656.

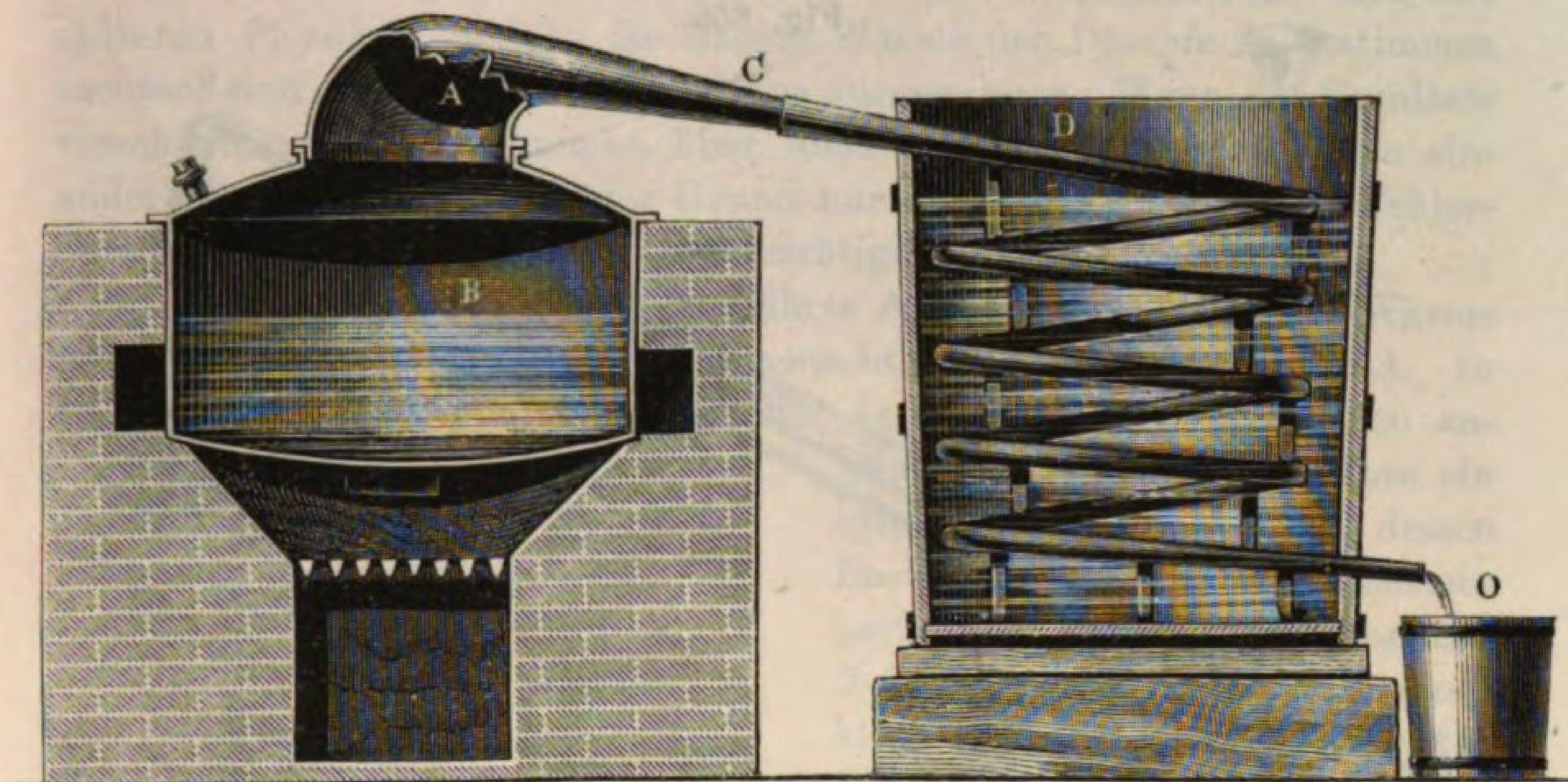


Substanzen verunreinigte Flüssigkeit, welche durch Destillation gereinigt werden soll, wird in der Retorte *a* erwärmt, deren Hals in der Vorlage *b* steckt. Diese Vorlage wird dadurch kühl gehalten, dass sie in einer Schale mit kaltem Wasser liegt. Der besseren Abkühlung wegen wird auch Löschpapier oder ein Leinwandlappen auf die Vorlage gelegt und auf diesen fortwährend kaltes Wasser getröpfelt. Die in der Retorte *a* gebildeten Dämpfe werden theils schon in dem Halse der Retorte, theils in der Vorlage selbst verdichtet und sammeln sich in der letzteren.

Fig. 610 stellt einen Apparat dar, wie er zu Destillationen in grösserem Maassstabe gebraucht wird. Das Gemisch, aus welchem eine Flüssigkeit durch Destillation gewonnen werden soll, befindet sich in der meist aus Kupferblech verfertigten Blase *B*. Auf dieser sitzt der Helm

A, welcher mit einem in das Kühlrohr *D* mündenden Rohre *C* versehen ist. Das schraubenförmig gewundene Kühlrohr befindet sich in

Fig. 657.



einem mit kaltem Wasser gefüllten Bottich. Die durch Condensation der Dämpfe im Kühlrohre gebildete Flüssigkeit fliesst bei *O* aus demselben in ein untergestelltes Gefäss ab.

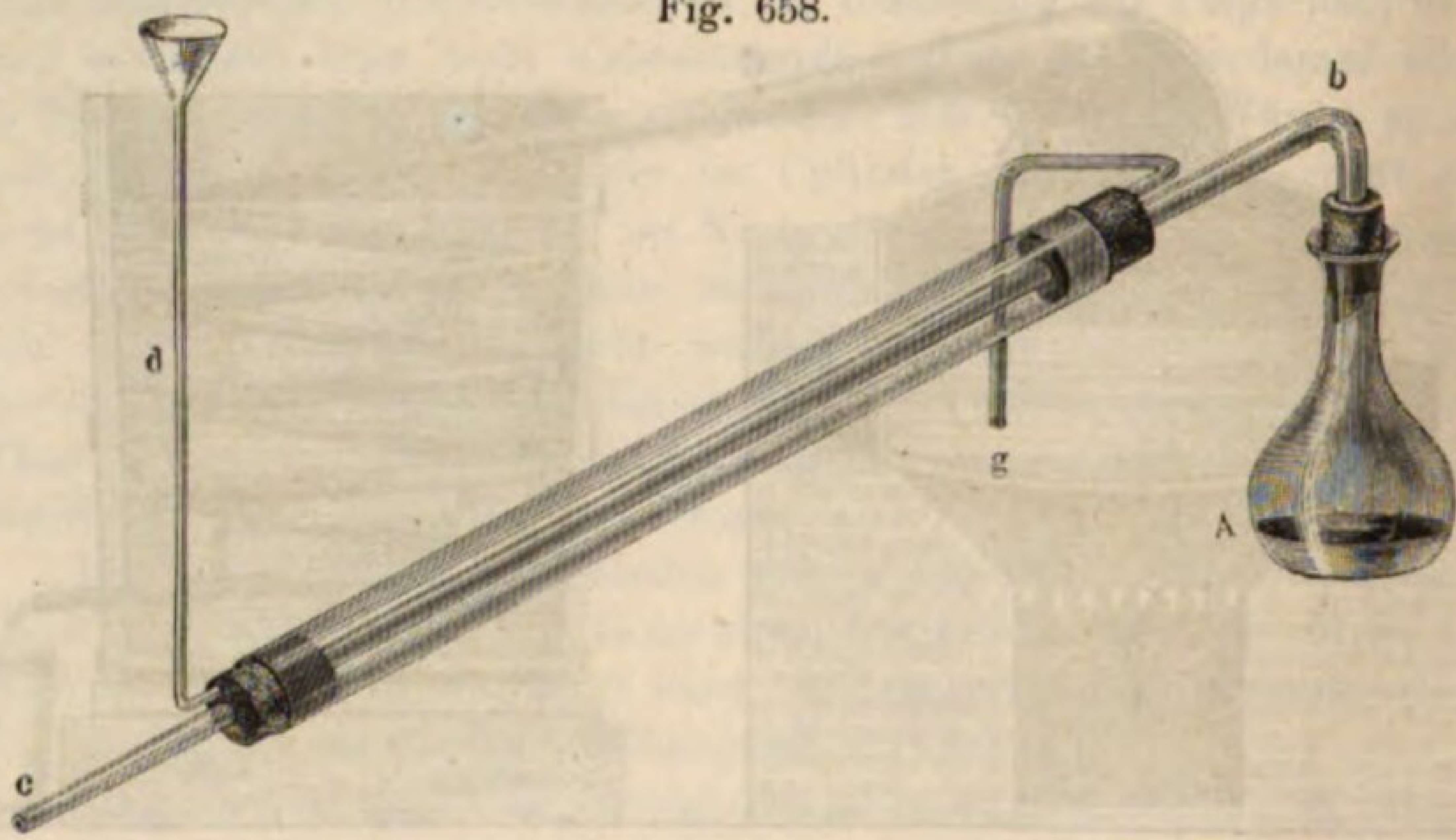
Bei der Condensation der Dämpfe wird ihre bis dahin gebunden gewesene latente Wärme wieder frei, diese freigewordene Wärme geht in das Kühlwasser über, und so kommt es denn, dass dasselbe sehr schnell erwärmt wird, wovon man sich an dem Kühlfass jedes Destillirapparates leicht überzeugen kann. Weil aber die Condensation der Dämpfe im Kühlrohre um so vollständiger erfolgt, je kälter das Kühlwasser ist, so muss dafür gesorgt werden, dass in dem Kühlfasse durch ein eigenes Rohr unten stets kaltes Wasser einströmt, während in gleichem Maasse oben das bereits erwärmte Wasser abfliesst.

Fig. 658 (a. f. S.) stellt eine für Destillationen in chemischen Laboratorien sehr zweckmässige Form eines kleinen Destillirapparates dar. Die in *A* entwickelten Dämpfe entweichen durch das Glasrohr *bc*, dessen mittlerer Theil von einem weiteren oben und unten durch Korke geschlossenen Glasrohre umgeben ist, welches die Stelle des Kühlgefässes vertritt. In dieses Kühlrohr lässt man das kalte Wasser durch das Rohr *d* eintreten, wogegen das mehr oder weniger erwärmte Wasser bei *g* wieder aus dem Kühlrohre austritt.

Nach diesen Erörterungen finden nun auch einige der früher erwähnten Erscheinungen an siedenden Salzlösungen ihre Erklärung. Dass die Wasserdämpfe, welche unter gewöhnlichem Luftdruck sich aus einer weit über 100° siedenden Salzlösung entwickeln, doch nicht über 100° warm sind, rührt offenbar daher, dass der Temperaturüberschuss der gerade in Dampf sich verwandelnden Wasserpartikelchen beim Uebergang

in den Gaszustand gebunden wird, also für das Thermometer verschwindet. — Durch den Salzgehalt ist das Sieden verzögert, es beginnt erst bei

Fig. 658.



einer höheren Temperatur, wobei aber die Temperatur des Dampfes in Folge der **Wärmebindung** sogleich wieder auf die normale Siedetemperatur **zurückfällt**, in gleicher Weise wie die Temperatur einer unter Null erkalteten Wassermasse beim Erstarren durch die dabei **frei werdende Wärme** auf den normalen Gefrierpunkt **steigt**.

Schon innerhalb der Flüssigkeit müssen die Dampfblasen eine niedrigere Temperatur haben, als diese, weil ein in den Strom der Dampfblasen gehaltenes Thermometer eine niedrigere Temperatur zeigt als die Salzlösung neben dem Dampfstrome.

Wiederholt man den in Fig. 655, Seite 748 dargestellten Versuch in der Weise, dass man in den Cylinder *c* statt reinen Wassers eine Salzlösung von hohem Siedepunkte, etwa eine ziemlich concentrirte Lösung von Chlorcalcium bringt, so wird die Temperatur dieser Salzlösung weit über 100^0 steigen, obgleich die von *a* herüberkommenden Dämpfe nicht heisser als 100^0 sind, weil, selbst wenn schon die Temperatur von 100^0 in *c* erreicht ist, die Anziehung des Salzes zum Wasser noch eine fernere Condensation der Wasserdämpfe bewirkt, deren frei werdende Wärme nothwendig auch eine weitere Temperaturerhöhung zur Folge haben muss.

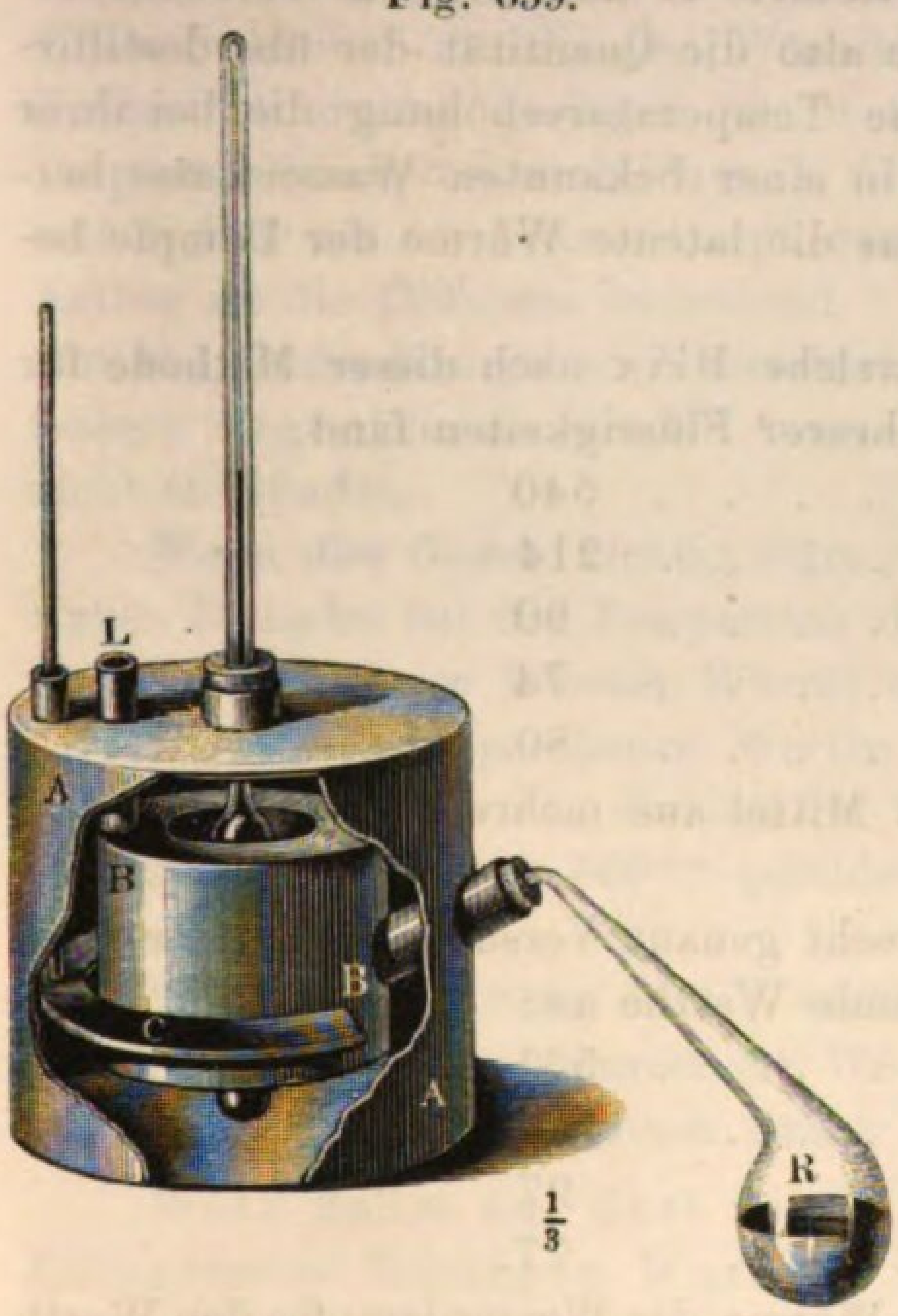
242 **Genauere Bestimmung der latenten Wärme der Dämpfe.** Man könnte mit jedem Destillirapparate den Werth der latenten Wärme der Dämpfe bestimmen, wenn es möglich wäre, jederzeit genau zu ermitteln, wie viel Dampf in einer gegebenen Zeit verdichtet worden ist und wie viel Wärme er an das Kühlwasser abgegeben hat; um die latente Wärme der Dämpfe genau zu bestimmen, hat man also nur einen De-

stillirapparat so einzurichten, dass sich diese Grössen mit Genauigkeit ermitteln lassen.

Black hat zuerst diese Methode in Anwendung gebracht, und alle späteren Physiker, welche die latente Wärme der Dämpfe zu bestimmen suchten, sind von derselben Grundidee ausgegangen. Wenn die Resultate verschiedener Untersuchungen über diesen Gegenstand ziemlich von einander abweichen, so liegt der Grund nur darin, dass mancherlei Fehlerquellen nicht immer gehörig berücksichtigt wurden.

Eine sehr gründlich durchgeführte Arbeit über die latente Wärme der Dämpfe hat Brix in Berlin gemacht (Pogg. Annal. Bd. LV.). In Fig. 659 ist der Apparat dargestellt, den er zu seinen Versuchen anwendet. Als Kühlraum diente ein cylindrisches Blechgefäss A, dessen Basis ungefähr 3 Zoll Durchmesser hatte und welches auch ungefähr 3 Zoll hoch war; die in einer kleinen Retorte R entwickelten Dämpfe wurden, nicht wie gewöhnlich in einem Schlangenrohre, sondern in einem cylindrischen hohlen Gefässe B, von ringförmiger Basis, condensirt, dessen innerer Raum durch eine Röhre L mit der äusseren Luft in Verbindung war, so dass die durch die Wärme verdrängte Luft hier austreten konnte. Das Kühlgefäss wurde mit einer gewogenen Quantität Wasser gefüllt, dessen Temperatur man stets an einem in der Mitte des ganzen Apparates angebrachten Thermometer ablesen konnte. In dem Raume zwischen der Vorlage B und der Wand des äusseren Gefässes A befand sich eine horizontal liegende Metallscheibe C, welche vermittelst eines verticalen Drahtes sich selbst parallel auf und ab bewegt werden konnte; dadurch wurde das Kühlwasser in steter Bewegung erhalten und eine möglichst gleichförmige Vertheilung der Wärme in demselben bewirkt.

Fig. 659.



Bei dem Versuche ruhte der Apparat auf drei hölzernen Füsschen, welche ihn nur in wenigen Punkten berührten; gegen die Wärme, welche vom Beobachter und der kleinen Weingeistlampe, durch welche die Flüssigkeit in der Retorte R ins Kochen gebracht wurde, ausstrahlte, war er durch Schirme von Holz und Pappe geschützt.

Um zu verhüten, dass das Kühlgefäss Wärme an die umgebende Luft verliert, wandte Brix einen Kunstgriff an, dessen sich schon Rumford

bei ähnlichen Versuchen bedient hatte, und welcher darin besteht, dass das Kühlgefäss mit Wasser gefüllt wird, welches zuvor schon einige Grade unter die Temperatur der umgebenden Luft erkaltet worden war, und dass man die Destillation so lange fortsetzt, bis die Temperatur des Kühlwassers die Lufttemperatur um eben so viel übertrifft, als sie anfangs unter derselben gewesen war. Dabei lässt sich dann wohl annehmen, dass der Apparat während der ersten Hälfte des Versuchs eben so viel Wärme von der Luft empfing, als er in der zweiten Hälfte verlor. Die übrigen Vorsichtsmaassregeln, welche Brix anwandte, um möglichst genaue Resultate zu erhalten, können hier nicht weiter erläutert werden.

Die übergegangene Flüssigkeit selbst wurde nicht gewogen, sondern der Gewichtsverlust, den sie in der Retorte R während des Versuchs erlitten hatte, bestimmt. Man kannte also die Quantität der überdestillirten Flüssigkeit, man wusste, welche Temperaturerhöhung die bei ihrer Verdichtung frei werdende Wärme in einer bekannten Wassermasse hervorgebracht hatte, und konnte daraus die latente Wärme der Dämpfe berechnen.

Folgendes sind die Werthe, welche Brix nach dieser Methode für die latente Wärme des Dampfes mehrerer Flüssigkeiten fand:

Wasser	540
Alkohol	214
Schwefeläther	90
Terpentinöl	74
Citronenöl	80.

Diese Werthe sind immer das Mittel aus mehreren wenig von einander abweichenden Resultaten.

Despretz, welcher ebenfalls recht genaue Versuche über diesen Gegenstand gemacht hatte, giebt folgende Werthe an:

Wasser	531
Alkohol	208
Schwefeläther	97
Terpentinöl	77.

Rumford fand für die latente Wärme des Wasserdampfes den Werth 557, Dulong 543.

Bezeichnen wir den Werth für die latente Wärme des Wasserdampfes mit 1, so ergeben sich folgende Werthe für die latente Wärme der übrigen Dämpfe:

	Nach Brix.	Nach Despretz.
Wasser	1	1
Alkohol	$\frac{1}{2,52}$	$\frac{1}{2,55}$
Schwefeläther	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{5,47}$
Terpentinöl.	$\frac{1}{7,3}$	$\frac{1}{7}$.

Nimmt man die Dichtigkeit des Wasserdampfes zur Einheit, so ergeben sich für die Dichtigkeit der Dämpfe der eben besprochenen Flüssigkeiten aus der Tabelle auf Seite 715 folgende Werthe:

Wasser	1
Alkohol	2,58
Schwefeläther	4,15
Terpentinöl	8,04.

Die Betrachtung dieser Zahlen zeigt, dass sich die latente Wärme der Dämpfe verschiedener Flüssigkeiten sehr nahe umgekehrt verhält, wie die Dichtigkeit dieser Dämpfe. So ist der Alkoholdampf 2,58mal dichter als Wasserdampf, die latente Wärme des Alkoholdampfes ist aber 2,52- bis 2,55mal kleiner als die des Wasserdampfes. Beim Terpentinöl ist die Uebereinstimmung geringer; wenn wir jedoch für die Dichtigkeit des Terpentinöldampfes, nach Dumas, den Werth 4,76 nehmen, so ist er 7,6-mal dichter als der Wasserdampf, was schon weit besser passt. Für den Aether ist die Differenz bedeutend. Es muss vor der Hand dahingestellt bleiben, ob der Mangel an Uebereinstimmung vielleicht den Beobachtungsfehlern zugeschrieben werden muss, oder ob das angeführte Gesetz gar nicht stattfindet.

Wenn dies Gesetz richtig wäre, so würden gleiche Volumina gesättigten Dampfes bei der Temperatur des Siedepunktes für alle Flüssigkeiten dieselbe Menge latenter Wärme enthalten.

Die bisher besprochenen Werthe für die latente Wärme der Dämpfe gelten natürlich nur für die bei der Temperatur des Siedepunktes unter einem Luftdrucke von 760^{mm} gebildeten Dämpfe.

Latente Wärme des Wasserdampfes bei verschiedenem Drucke. 243 Der oben besprochene Werth für die latente Wärme des Wasserdampfes gilt nur bei einem Druck von 760^{mm}.

Watt nahm an, dass die Wärmemenge, welche man einem Kilogramm flüssigen Wassers von 0^0 zuführen muss, um es in Dampf zu verwandeln, stets dieselbe sei, welches auch die Spannkraft des gesättigten Dampfes sein mag, dass also stets dieselbe Summe erhalten werden müsse, wenn man zur latenten Wärme des gesättigten Dampfes seine Temperatur addirt. Demnach wäre

für die Temperatur	die latente Wärme des gesättigten Dampfes
0^0 C.	640
50	590
100	540
200	440.

Dieses Gesetz darf indess nur als eine Hypothese des berühmten Mechanikers betrachtet werden, da Watt es nicht auf directe Versuche grün-

dete. Er hatte nur einen einzigen Versuch unter geringerem Druck als dem einer Atmosphäre angestellt, dessen Mangelhaftigkeit er selbst zugiebt.

Southern stellte über den fraglichen Gegenstand Versuche an, nach welchen die latente Wärme des gesättigten Wasserdampfes für alle Spankräfte dieselbe ist.

Die Beobachtungen, welche Pambour an Locomotiven anstellte, liessen sich zwar mit dem Watt'schen, aber nicht mit dem Southern'schen Gesetze in Uebereinstimmung bringen.

Endlich hat Regnault, welcher sich schon so viele Verdienste um die Wärmelehre erworben hat, auch über diesen Gegenstand gründliche Untersuchungen angestellt, welche zeigten, dass weder das Watt'sche noch das Southern'sche Gesetz richtig ist, dass sich aber letzteres weit mehr von der Wahrheit entfernt als ersteres.

Die von Regnault (Pogg. Ann. LXXVIII, Mémoires de l'academie des sciences, XXI, 1847) angewandte Methode unterscheidet sich im Princip nicht von derjenigen, welche Brix angewandt hat, nur waren die einzelnen Theile der Apparate weit grossartiger ausgeführt, es war dafür gesorgt, dass Verdampfung und Condensation nicht allein unter dem Druck der Atmosphäre, sondern auch theils unter geringerem, theils unter höherem Druck vor sich gehen konnte; ferner hat er im Gang der Versuche einige Vervollkommnungen eingeführt, welche den Zweck hatten, die Fehlerquellen möglichst zu vermindern und besser in Rechnung bringen zu können.

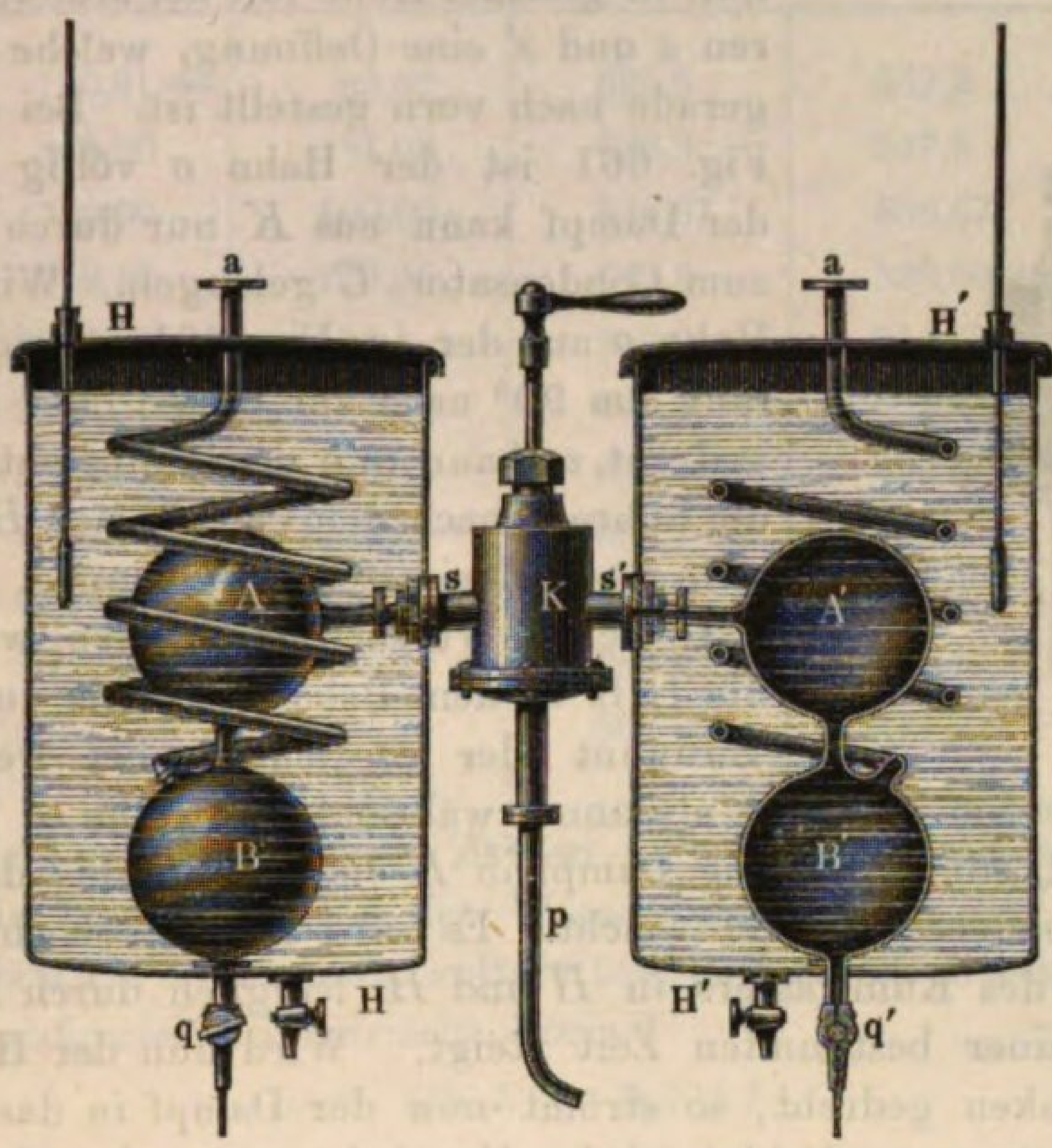
Der Dampf wurde in einem Kessel von 300 Liter Inhalt, in welchen 150 Liter Wasser eingefüllt waren, entwickelt und durch ein 35^{mm} weites kupfernes Rohr zu der Dampfkammer K, Fig. 660, geleitet. Dieses Zuleitungsrohr, welches wir mit r bezeichnen wollen, mündet auf der Rückseite der Dampfkammer K in dieselbe und ist in unserer Figur nicht sichtbar. Aus der Dampfkammer K gelangt der Dampf entweder durch das mittelst eines Hahnes verschliessbare Rohr p in einen Condensator C (in unserer Figur nicht vorhanden) oder, je nachdem ein im Inneren von K befindlicher, eigenthümlich construirter Vertheilungshahn gestellt ist, in das Calorimeter H auf der linken, oder in das ganz gleich construirte Calorimeter H' auf der rechten Seite.

Wenn das Rohr p geschlossen und der Vertheilungshahn in K so gestellt ist, dass der Dampf in das Calorimeter H einströmt, so gelangt er zunächst in die kupferne Hohlkugel A und wird theils hier, theils in der Hohlkugel B oder endlich in dem an B sich ansetzenden und bei a mündenden Schlangenrohre condensirt.

Damit nun Verdampfung und Condensation unter jedem beliebigen Druck vor sich gehen können, sind die oben erwähnten bei a und a' mündenden Schlangenrohre durch Röhren mit einem grossen Luftbehälter L (in unserer Figur nicht vorhanden) von 600 Liter Rauminhalt verbunden, in welchem man die Luft mittelst einer entsprechenden Luftpumpe ent-

weder verdünnen oder verdichten kann. Der durch passend angebrachte Manometer gemessene Druck D, unter welchem die Luft in dem Behälter L steht, herrscht auch im Inneren der Kugeln A und B und des an

Fig. 660.



sie sich ansetzenden Schlangenrohres, so wie auch endlich im Dampfkessel selbst; die Verdampfung sowohl wie auch die Condensation im Calorimeter gehen also unter dem Druck D vor sich, den man nach Belieben variiren und reguliren kann.

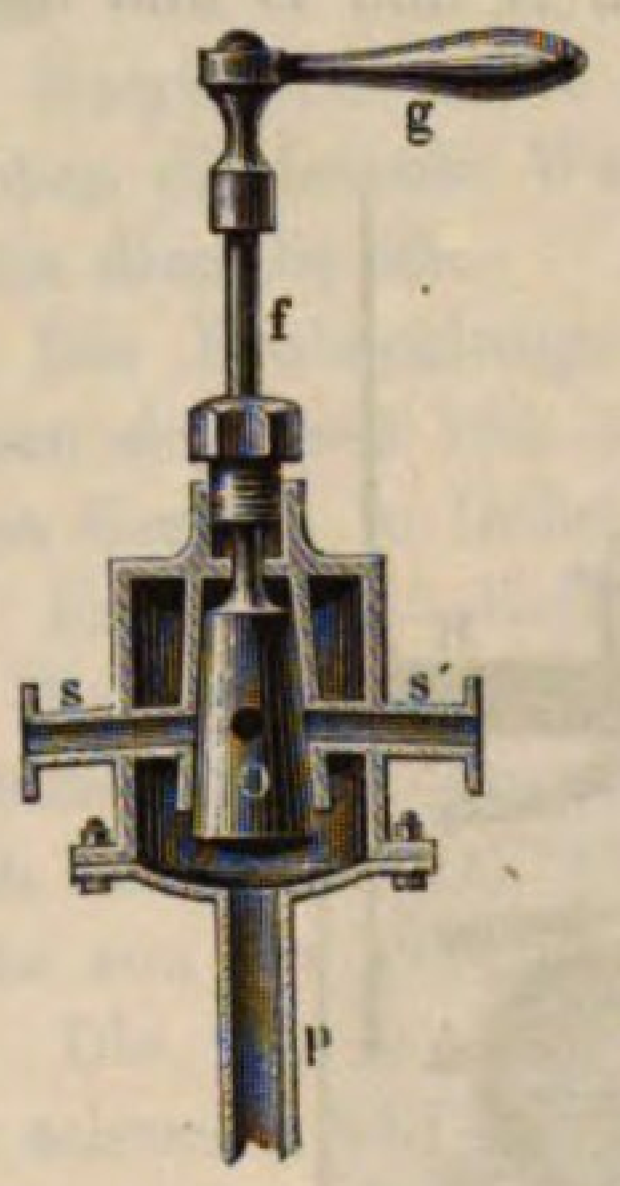
Mit dem Luftbehälter L steht nun auch der Condensator C in Verbindung, in welchen die Dämpfe von K durch das Rohr p einströmen, so lange der Vertheilungshahn in K noch so gestellt ist, dass der Dampf in keines der beiden Calorimeter H und H' einströmen kann.

Damit der vom Kessel nach der Dampfkammer K strömende Dampf nicht schon im Rohre r abgekühlt und theilweise condensirt werde, ist das Rohr r von einem zweiten, 9 Centimeter im Durchmesser haltenden Rohre umgeben, in welches Dampf aus dem gleichen Dampfkessel einströmt und welches gleichfalls mit dem Condensator C in Verbindung steht, so dass der Dampf im Rohre r sowohl wie im Umhüllungsrohre unter dem Drucke D steht.

Der in der Dampfkammer K angebrachte Vertheilungsapparat hat die aus Fig. 661 (a. f. S.) ersichtliche Einrichtung. Von der Decke von K ragt ein hohler Metallkonus herab, von welchem aus eine kurze Röhre s nach links und eine zweite s' nach rechts führt. In diesem Hohlkegel

befindet sich genau schliessend eine unten offene Metallglocke *o*, welche an einer von oben durch eine Stopfbüchse eintretenden Stange *f* befestigt ist, die mittelst des Hebels *g* gedreht werden kann. Die Glocke *o* hat nun in gleicher Höhe mit der Mündung der Röhren *s* und *s'* eine Oeffnung, welche in Fig. 661 gerade nach vorn gestellt ist. Bei der Stellung Fig. 661 ist der Hahn *o* völlig geschlossen, der Dampf kann aus *K* nur durch das Rohr *p* zum Condensator *C* gelangen. Wird aber der Hahn *o* aus der in Fig. 661 gezeichneten Stellung um 90° nach der linken oder rechten Seite gedreht, so kann nun der Dampf entweder durch die Röhre *s* nach dem Calorimeter *H* oder durch *s'* in das Calorimeter *H'* gelangen.

Fig. 661.



Um einen Versuch anzustellen, wird zunächst die Luft in dem Behälter *L* bis zu dem Grade verdünnt oder verdichtet, bei welchem experimentirt werden soll und alsdann, während der Hahn *o* die Stellung Fig. 661 hat, eine Zeit lang Dampf in *K* eingeleitet, der dann durch *p* nach dem Condensator *C* entweicht. Es wird dabei beobachtet, wie die Temperatur des Kühlwassers in *H* und *H'* lediglich durch Leitung von *K* aus in einer bestimmten Zeit steigt. Wird nun der Hahn um 90° nach der Linken gedreht, so strömt nun der Dampf in das Calorimeter *H*, in welchem er verdichtet wird. Es wird nun, während das Wasser in beiden Calorimetern in steter Bewegung erhalten wird, das Steigen der Temperatur in beiden (in *H'* rührt sie bloss von der Leitung her) beobachtet. Nachdem eine genügende Menge Dampf in das Calorimeter eingeströmt ist, wird der Hahn *o* in seine Anfangsstellung zurückgedreht, aber die Beobachtung des Thermometers in *H* noch fortgesetzt, bis die Temperatur des Kühlwassers ihr Maximum erreicht hat, was erst 2 bis 3 Minuten nach dem Abstellen des Hahnes eintritt.

Ist auf diese Weise die Temperaturerhöhung des Kühlwassers in *H* ermittelt worden, so wird das condensirte Wasser durch den Hahn *q*, Fig. 660, abgelassen und gewogen, und auch die Quantität des Kühlwassers genau bestimmt. In der folgenden Tabelle sind einige der Resultate zusammengestellt, wie sie Regnault aus möglichst sorgfältig angestellten Versuchen unter Anbringung aller nöthigen Correctionen ermittelt hat.

Spannung des Dampfes.	Temperatur des Dampfes.	Gesammt-wärme.	Latente Wärme.
170,91 mm	63,02	625,5	562,5
369,80	81,03	628,8	547,8
760,00	100,00	636,67	536,67
1448,17	119,25	642,3	523,00
2285,26	134,4	649,0	514,6
3042,51	144,3	649,7	505,4
3883,14	153,5	650,1	496,6
4643,15	160,3	653,1	492,8
6127,67	171,6	655,5	483,9
8056,49	183,2	662,4	479,2
10354,84	194,8	666,0	471,2

Es ergiebt sich aus diesen Zahlen kein einfaches Gesetz, nach welchem sich die latente Wärme des Wasserdampfes mit der Temperatur ändert. Regnault's Versuchsresultate lassen sich jodoch sehr gut durch die von ihm aufgestellte empirische Formel

$$\lambda = 606,5 + 0,305\,t$$

ausdrücken, wenn λ die Gesammtwärme des gesättigten Wasserdampfes und t die nach dem hunderttheiligen Thermometer gemessene Temperatur bezeichnet. Nach dieser Gleichung ist die folgende Tabelle berechnet.

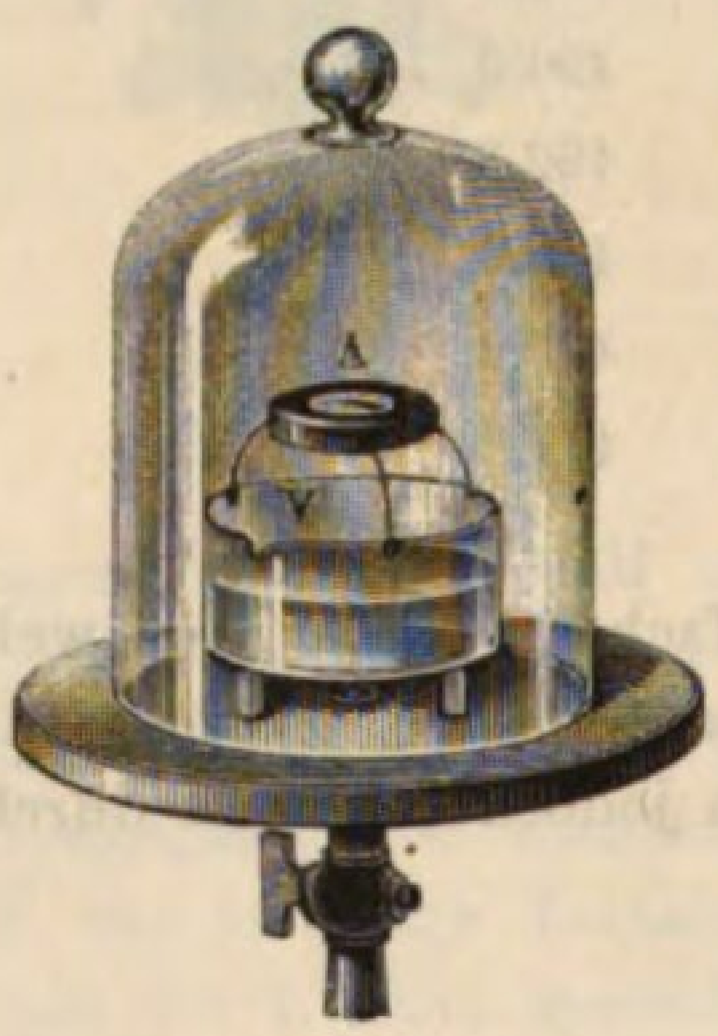
Temperatur des gesättigten Wasserdampfes.	Gesammtwärme des gesättigten Wasserdampfes.
0°	606,5
40	618,7
100	637,0
120	643,1
140	649,2
160	655,3
180	661,4
200	667,5
220	673,6

Erzeugung von Kälte durch Verdampfung. Wenn eine Flüssigkeit an freier Luft kocht, so behält sie eine constante Temperatur, 244

weil sie von dem Feuer oder einer anderen Wärmequelle stets so viel Wärme erhält, als durch die Dampfbildung absorbirt wird. Wenn das Kochen aber unter dem Recipienten der Luftpumpe vor sich geht, so sinkt die Temperatur fortwährend, weil alsdann der Dampf die zu seiner Bildung nöthige latente Wärme aus der Flüssigkeit selbst und aus den umgebenden Körpern nehmen muss. Durch die bei rascher Verdampfung stattfindende Wärmebindung erklären sich folgende Versuche.

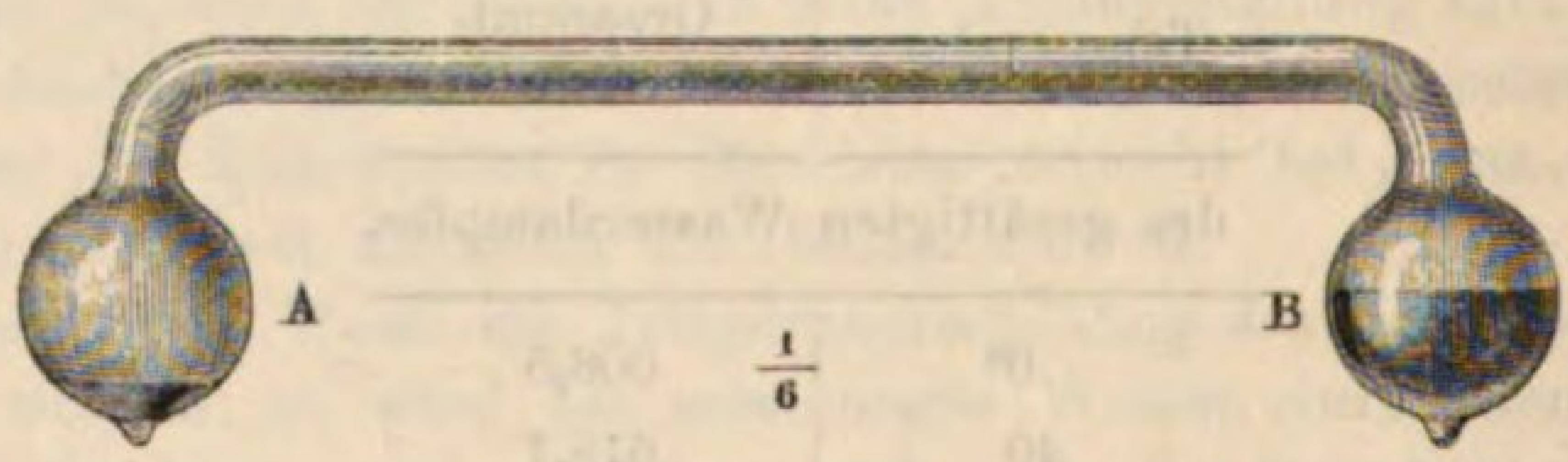
Man setze unter den Recipienten der Luftpumpe ein breites Glasgefäss *V*, Fig. 662, welches mit Schwefelsäure (SO_3,HO) gefüllt ist. Einige Zoll darüber ist, von einem aus dünnen Drähten gebildeten Dreifuss getragen, ein flaches Schälchen von Korkholz angebracht, welches innen mit Russ bedeckt ist und welches einige Tropfen Wasser enthält. Hat man so weit als möglich evacuirt, so wird durch Drehen des entsprechenden Hahns die Verbindung zwischen dem Recipienten und den Stiefeln der Luftpumpe abgestellt; man findet dann nach 10 bis 15 Minuten das Wasser gefroren. Dieser merkwürdige Versuch rührt von Leslie her. Die Schwefelsäure absorbirt den Wasserdampf, sobald er sich bildet, und unterhält dadurch eine rasche Verdunstung des Wassers. Alle Körper, welche den Wasserdampf stark absorbiren, bringen dieselbe Wirkung hervor.

Fig. 662.



In Wollaston's Kryophor gefriert das Wasser ebenfalls durch seine eigene Verdampfung. Zwei Glaskugeln, Fig. 663, sind durch eine

Fig. 663.

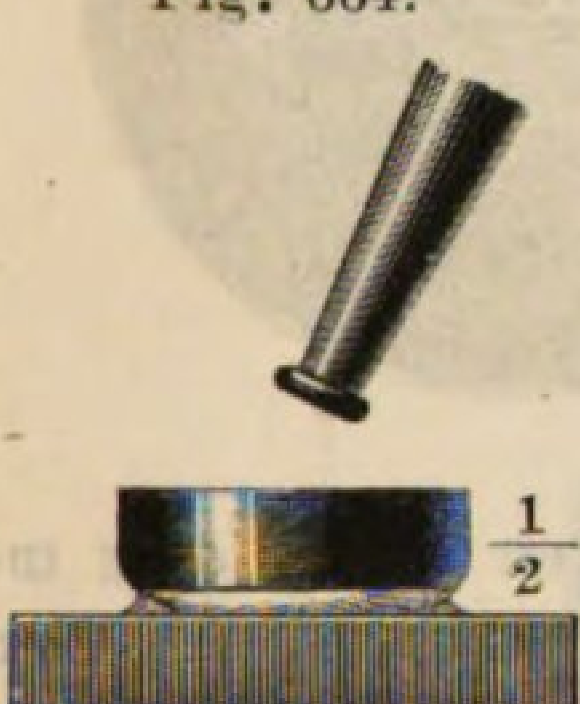


etwas weite Röhre verbunden. Das Innere dieses Apparates, welches so viel Wasser enthält, dass mit demselben ungefähr die Hälfte der einen Kugel gefüllt werden kann, muss vollkommen luftleer sein, was dadurch erreicht worden ist, dass die letzte Oeffnung von dem Löthrohr erst zugeschmolzen wurde, als durch Auskochen alle Luft ausgetrieben war. Wenn man nun alles Wasser in der einen Kugel *B* zusammenlaufen lässt und dann die andere Kugel *A* in eine Kältemischung taucht, so wird durch die in *A* fortwährend erfolgende Verdichtung der Wasserdämpfe in der anderen Kugel eine so rasche Verdunstung hervorgerufen, dass das Wasser gefriert.

Auch durch die rasche Verdunstung von Schwefeläther kann man Wasser leicht zum Gefrieren bringen. Man umwickelt zu diesem Zwecke eine mit Wasser gefüllte, etwa 1 Linie weite Glasröhre mit Baumwolle, die man mit Schwefeläther tränkt. Die so vorgerichtete Röhre bringt man in einem beliebigen Glasgefässe unter die Glocke der Luftpumpe. Beim Evacuiren verdunstet der Aether so rasch, dass das Wasser gefriert.

Das Gefrieren des Wassers durch rasch verdampfenden Aether oder Schwefelkohlenstoff lässt sich auch ohne Luftpumpe durch das folgende, von Böttger angegebene Verfahren erreichen. Man bringe auf ein Brettchen von Tannenholz einige Tropfen Wasser, setze darauf ein sehr dünnwandiges Schälchen von Kupferblech, wie Fig. 664 zeigt, giesse eine Partie Schwefelkohlenstoff hinein und bringe diesen dadurch rasch zum Verdampfen, dass man mit Hülfe eines gewöhnlichen Blasbalges darauf bläst. Nachdem dies eine Zeit lang fortgesetzt worden ist, gefriert das Wasser unter dem Schälchen, so dass nun das Schälchen mit dem Brette fest zusammenhängt.

Fig. 664.



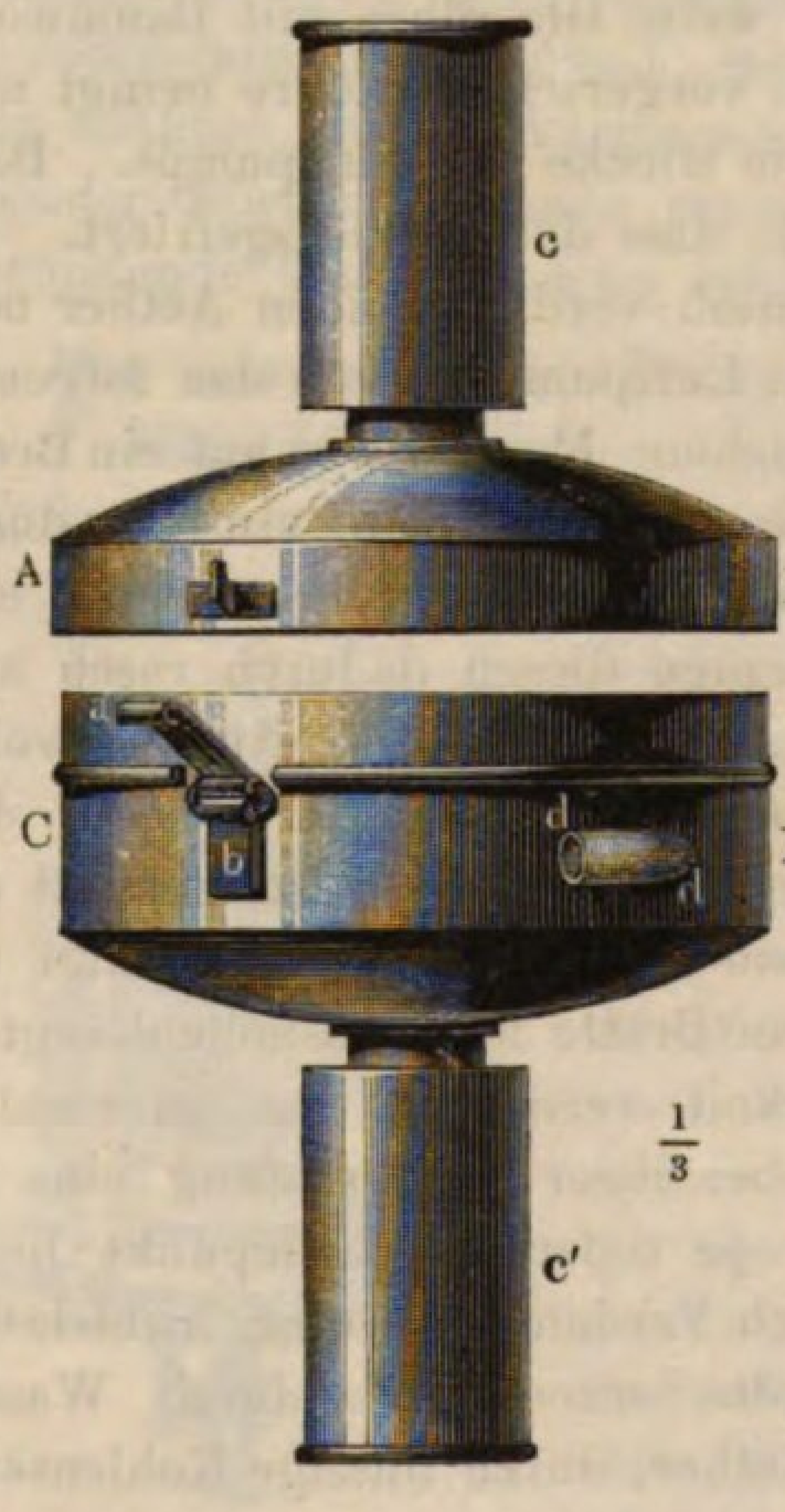
$\frac{1}{2}$

Eine Flüssigkeit verdampft um so rascher, sie erzeugt also bei ihrer Verdampfung eine um so stärkere Kälte, je tiefer ihr Siedepunkt liegt; deshalb wird durch Verdampfen von Schwefeläther eine stärkere Kälte erzeugt als durch Wasser, durch schweflige Säure mehr als durch Aether, durch flüssige Kohlensäure mehr als durch schweflige Säure.

Wenn man den mit flüssiger Kohlensäure gefüllten Recipienten, Fig. 640 auf Seite 723, in einer Kältemischung abkühlt, ihn dann umkehrt, und die Schraube t, welche nun nach unten gerichtet ist, öffnet, so dringt ein Strahl flüssiger Kohlensäure aus dem Röhrchen n hervor, welche so rasch verdunstet, dass eine bedeutende Wärmebindung stattfindet. In Folge davon findet eine so grosse Temperaturerniedrigung statt, dass ein Theil der Kohlensäure selbst in den festen Zustand übergeht, es bilden sich schneeähnliche Flocken von Kohlensäure. Um diese feste Kohlensäure zu sammeln, dient der Behälter Fig. 665 (a. f. S.). Zwei kurze Cylinder von Messingblech, AB und CD, welche auf der einen Seite mit einem gewölbten Boden geschlossen sind, werden so zusammengesteckt, dass sie einen geschlossenen Raum bilden. Sind die beiden Hülsen zusammengesteckt, so können sie durch zwei Schliessen, von denen in unserer Figur nur die vordere ab sichtbar ist, fest zusammengehalten werden. In Fig. 666 ist der untere Theil dieser Vorrichtung im Grundriss dargestellt. Eine Röhre d führt in den Behälter hinein; in diese Röhre d wird das an der Flasche Fig. 665 befindliche Röhrchen n hineingesteckt und dann die Schraube t geöffnet. Die Kohlensäure strömt nun in den Behälter Fig. 665, dessen Handgriffe auf beiden Seiten hohl sind, so dass durch die Löcher in den beiden Böden die verdampfende Kohlensäure entweichen kann, während die feste schneeartige in dem Blechgefässe gesammelt

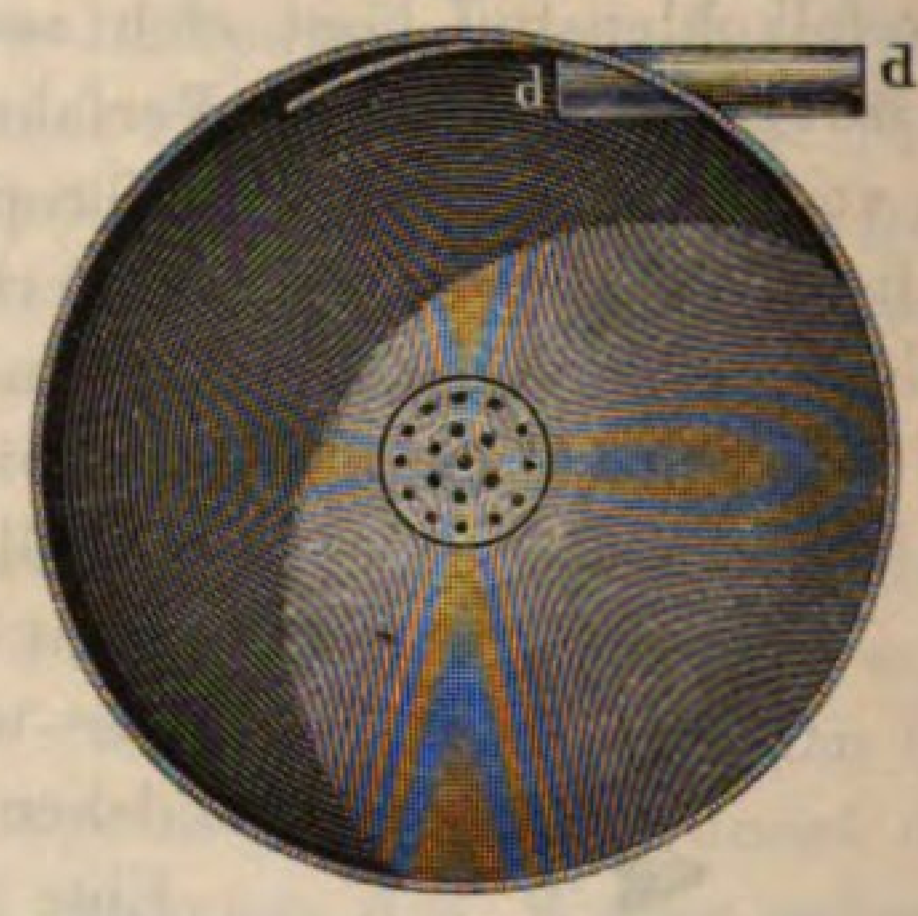
wird. Man braucht nur nach Zurücklegung der Schliessen die beiden Theile auseinander zu nehmen, um die feste Kohlensäure herausnehmen zu können.

Fig. 665.



Diese hat nur eine sehr geringe Temperatur, welche noch dadurch

Fig. 666.



erniedrigt werden kann, dass man Aether darauf tröpfelt; eine ziemliche Quantität Quecksilber kann man mit dieser Mischung augenblicklich gefrieren machen; mit dem Finger berührt, erzeugt sie ein schmerzhaftes Gefühl; die Temperatur ist unter — 90⁰, was jedoch nur mit Thermometern von Weingeist oder Schwefelkohlenstoff ermittelt werden kann.

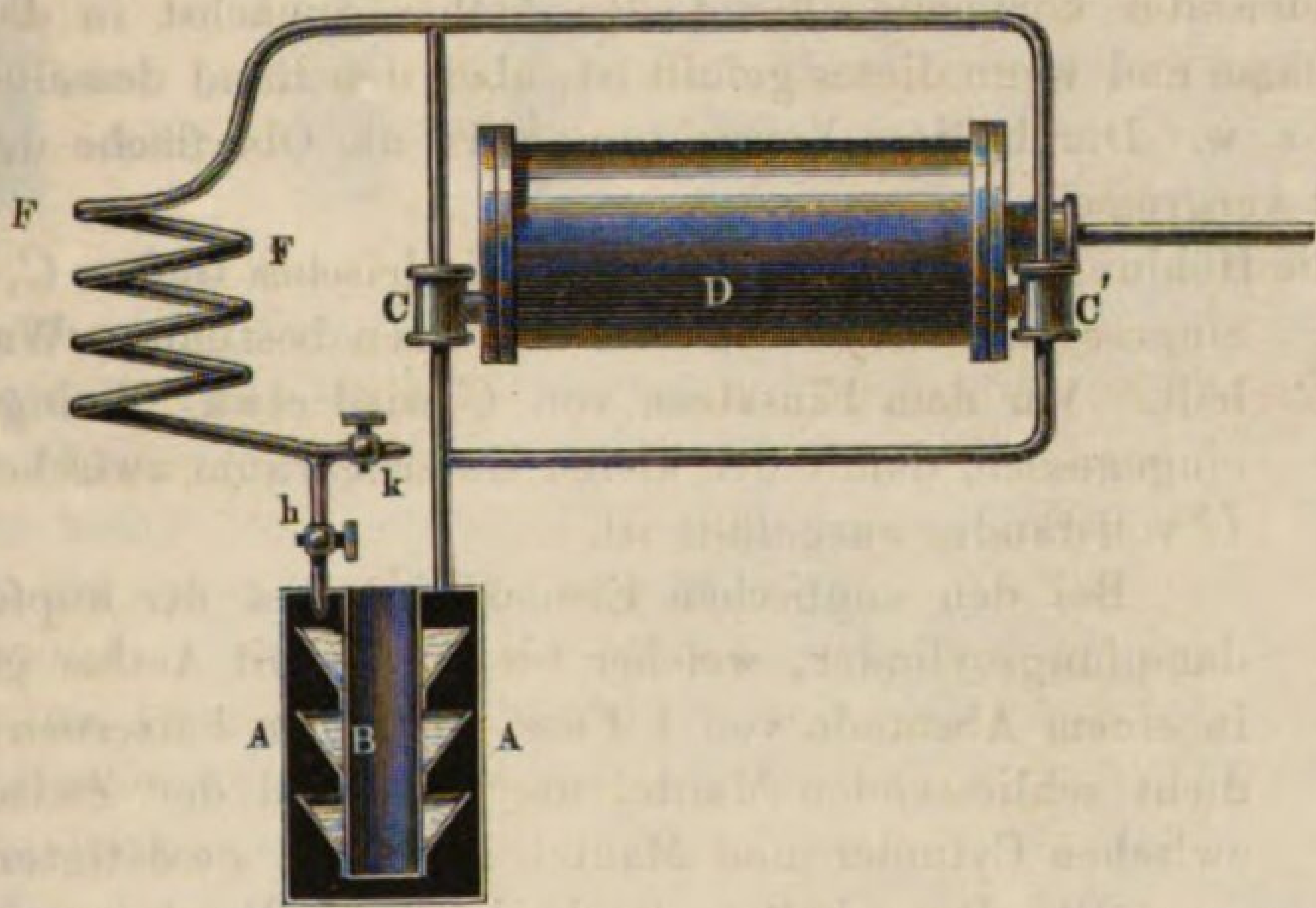
Man kann, wie schon oben bemerkt wurde, auch **Stickstoffoxydul** mit Hülfe des **Natterer**'schen Apparates verdichten. Das aus der feinen Oeffnung im Röhrchen *n*, Fig. 640, ausströmende Stickstoffoxydul erhält man auch in freier Luft im flüssigen Zustande. **Natterer** sammelte ein kleines Trinkglas voll dieser Flüssigkeit, die sich bei weitem länger erhielt als feste Kohlensäure und die niedrigste Temperatur liefert, die man bis jetzt kennt. Ein zu diesem Zwecke eigens vorgerichtetes Thermometer sank auf — 105⁰, was wohl der Siedepunkt der Flüssigkeit sein dürfte; aus der Flüssigkeit herausgezogen, sank es noch auf — 115⁰, indem es sich mit einer Kruste von festem Stickstoffoxydul überzog. Alkohol von 0,84 specif. Gewicht wird bei diesen niedrigen Temperaturen zähe, solcher von 0,797 specif. Gewicht wird bedeutend dickflüssig.

Die Temperaturerniedrigung, welche durch rasches Verdampfen einer Flüssigkeit entsteht, ist natürlich um so bedeutender, je tiefer der Siedepunkt der Flüssigkeit liegt und je grösser die latente Wärme ihres Dampfes ist.

Einige sehr interessante Fälle des Gefrierens durch rasche Verdampfung sind bereits auf Seite 744 besprochen worden.

Eisapparate. Man hat in neuerer Zeit die durch rasche Verdampfung bewirkte Temperaturerniedrigung benutzt, um künstliches Eis in grösseren Quantitäten darzustellen. Carré hat zuerst in Frankreich und Harrison hat in England solche Eisapparate construirt, bei welchen Aether als verdampfende Flüssigkeit in Anwendung kam (Dingl. polyt. Journ. Bd. CLVIII; Bd. CLXVIII). Die schematische Figur 667 mag dazu dienen, das Wesentliche dieser Apparate verständlich zu machen. *A* ist ein luftdicht verschlossener cylindrischer Raum (der Congelator), 245

Fig. 667.



in welchem sich Aether befindet und von welchem aus Röhren zu der doppelt wirkenden Luftpumpe *D* führen. Während der Kolben in der Luftpumpe nach der rechten Seite geht, ist das untere Ventil im Ventilkästchen *C* geöffnet und es werden Aetherdämpfe aus *A* durch *C* in den Luftpumpenstiefel eingesaugt, während die auf der rechten Seite des Kolbens im Stiefel befindlichen Aetherdämpfe in das Ventilkästchen *C'* getrieben, das untere Ventil zudrücken, aber durch das obere hindurch nach dem Condensationsapparate *F* getrieben werden. Beim Rückgange des Kolbens werden dann umgekehrt die Aetherdämpfe aus *A* durch *C'* in den Stiefel eingesaugt und durch *C* nach dem Condensationsapparate getrieben.

Die Röhren des Condensationsapparates sind stets von kaltem Wasser umgeben, die in dieselben hineingetriebenen Aetherdämpfe werden also hier wieder zu flüssigem Aether verdichtet, welcher dem Congelator *A* wieder zugeführt wird. Die einmal in dem Apparate befindliche Aethermasse circulirt also in demselben ohne aus demselben auszutreten, der Verlust an Aether ist deshalb auch nur gering. Damit die Verdampfung des Aethers möglichst rasch vor sich gehe, muss der Apparat luftleer sein. Um dies zu bewirken, wird zu Anfang der Operation der Hahn *h* (oder ein ihm entsprechendes Ventil) geschlossen und *k* geöffnet, um hier die Luft

austreten zu lassen. Wenn hinlänglich evacuirt ist, wird k geschlossen und h geöffnet.

Die in Fig. 667 dargestellte Einrichtung des Congelators ist die der Carré'schen Eisapparate. Er enthält eine Anzahl cylindrischer Zellen B, welche oben offen fast bis zum Boden des Congelators hinabreichen. In unserer Figur ist ein Congelator gezeichnet, welcher nur eine Zelle enthält, während sich im Congelator des Carré'schen Apparates 36 solcher Zellen befinden. Jede der Zellen B ist von einer Reihe konischer Gefässe umgeben, welche, wie unsere Figur zeigt, mit Aether gefüllt sind. Von dem Condensator kommend, fliesst der Aether zunächst in das oberste dieser Gefässe und wenn dieses gefüllt ist, über den Rand desselben in das zweite u. s. w. Durch diese Vorrichtung wird die Oberfläche des Aethers möglichst vergrössert.

Fig. 668.



In die Höhlung von B wird nun ein cylindrisches Gefäss C, Fig. 668, eingesetzt, welches das zum Gefrieren bestimmte Wasser enthält. Vor dem Einsetzen von C wird etwas Weingeist in B eingegossen, damit der kleine Zwischenraum zwischen B und C vollständig ausgefüllt ist.

Bei den englischen Eismaschinen ist der kupferne Verdampfungscylinder, welcher bis zu $^2/_3$ mit Aether gefüllt ist, in einem Abstande von 1 Fuss mit einem hölzernen, wasserdicht schliessenden Mantel umgeben und der Zwischenraum zwischen Cylinder und Mantel mit einer gesättigten Lösung von Kochsalz gefüllt. Die erkaltete Kochsalzlösung fliesst nun im gleichförmigen Strome durch einen hölzernen Canal ab, in welchem flache Blechkasten aufgestellt sind, welche das zum Gefrieren bestimmte Wasser enthalten. Die an dem Blechkasten vorbeigeströmte Salzlösung wird durch eine Pumpe in den Umhüllungsraum des Verdampfungscylinders zurückgebracht.

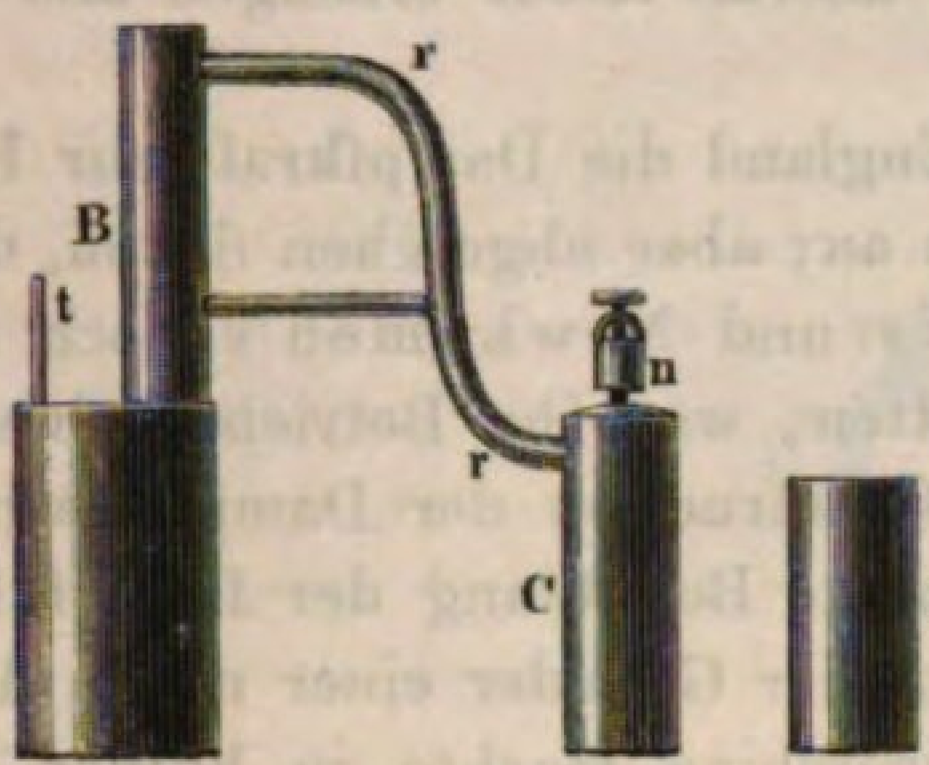
Der Carré'sche Eisapparat enthält 15 Kilogramm Aether. Eine Dampfmaschine, welche mit $2^1/_2$ Pferdekraft arbeitet, setzt die Luftpumpe in Bewegung und schafft das Condensationswasser (1833 Kilogramm in der Stunde) herbei; die Eisproduction beträgt über 60 Kilogramm in der Stunde.

Die grösseren englischen Maschinen werden durch eine Dampfmaschine von 24 Pferdekräften in Bewegung gesetzt und liefern über 200 Kilogramm in der Stunde.

Carré hat noch eine zweite Art von Eisapparaten construirt, bei welchen die Temperaturerniedrigung durch rasches Verdampfen von condensirtem Ammoniakgas bewerkstelligt wird (Dingl. polyt. Journ. Bd. CIX und Bd. CLXIII). Fig. 669 stellt die kleinste Gattung dieser Apparate dar. A ist ein starker, aus verzinntem Eisenblech verfertigter, luftdicht schliessender hohler Cylinder, welcher zu $^3/_4$ mit einer concentrirten Lösung von Ammoniak in Wasser (Salmiakgeist) gefüllt ist. Auf A ist ein engerer Cylinder B luftdicht aufgesetzt, aus

welchem ein Rohr *r* zu dem hohlen Cylinder *C* (dem Refrigerator) führt, dessen Inhalt 4mal kleiner ist als der von *A* und welcher gleichfalls luftdicht verschlossen ist. Der ganze Apparat muss luftleer sein. Wenn nun *A* mit Feuer umgeben, *C* aber in kaltes Wasser eingetaucht ist, so wird das Ammoniakgas aus dem Wasser in *A* ausgetrieben, in *C* aber zu einer tropfbaren Flüssigkeit condensirt.

Fig. 669.



In dem Deckel von *A* ist eine Röhre eingesetzt, ähnlich der Röhre *a* des Apparates Fig. 648, S. 734, welche etwas Oel enthält, um ein Thermometer *t* in dasselbe einzusenken. Wenn die Erwärmung so weit fortgeschritten ist, dass das Thermometer *t* ungefähr 40° C. zeigt, muss man sich überzeugen, dass der Apparat luftleer ist, zu welchem Zwecke auf *C* das kleine mit Wasser gefüllte Gefäss *n* angebracht ist, welches mit *C* durch ein enges, mittelst einer Schraube zu schliessendes Röhrchen verbunden ist. Sobald man das Verbindungsröhrchen öffnet, entweicht die noch im Apparat enthaltene Luft in Form von Bläschen durch das Wasser in *n*, wenn aber alle Luft ausgetrieben ist, lässt sich das charakteristische Geräusch des sich in Wasser lösenden Ammoniakgases hören. Sobald dies der Fall ist, wird das Verbindungsröhrchen geschlossen und *A* weiter erwärmt, bis das Thermometer 130° C. zeigt, wo dann fast alles Ammoniakgas aus *A* ausgetrieben und in *C* condensirt ist.

Nun wird *C* zunächst in einen hohlen Blechcylinder *D* eingetaucht, und der geringe Zwischenraum zwischen beiden mit Weingeist gefüllt, *D* aber in ein weiteres Gefäss mit Wasser eingesetzt. *A* dagegen wird vom Feuer entfernt und in ein Gefäss mit kaltem Wasser eingetaucht. Sobald das Wasser in *A* erkaltet, absorbirt es das Ammoniakgas mit Heftigkeit, und in Folge davon findet eine rasche Verdampfung der Ammoniakflüssigkeit in *C* statt, welche von einer so bedeutenden Wärmebindung begleitet ist, dass sich um das Gefäss *D* herum ein hohler Eiskegel bildet.

Man kann diesen Eisapparat auch zur Gewinnung von süssem Wasser aus dem Meerwasser benutzen, indem nur das süsse Wasser gefriert und alles Kochsalz in dem nicht gefrierenden Wasser gelöst bleibt.

Die oben beschriebenen Ammoniak-Eisapparate werden als intermittirende bezeichnet. Carré hat aber auch continuirlich wirkende Ammoniak-Eisapparate construirt, deren Beschreibung uns hier zu weit führen würde.

Die Dampfmaschine. Der Wasserdampf gehört zu den mächtigsten bewegenden Kräften, die uns zu Gebote stehen. Es ist kein Zweifel, dass der ungeheure Aufschwung, dessen sich die Industrie und 246

der Verkehr in den neuesten Zeiten zu erfreuen haben, der Anwendung des Wasserdampfs zu verdanken ist. Der Wasserdampf liefert uns eine Kraft, deren wir aufs Vollkommenste Meister sind, der wir jede nur beliebige Intensität geben können, die wir überall leicht erzeugen und anbringen können.

Schon seit 1788 wandte man in England die Dampfkraft zur Förderung der Grubenwasser in Bergwerken an; aber abgesehen davon, dass die dazu verwandten Maschinen Savary's und Newkomen's doch nur eine sehr beschränkte Anwendbarkeit hatten, war ihr Betrieb auch sehr kostspielig. Erst Watt gelang es, die Construction der Dampfmaschine so zu vervollkommnen, dass eine allgemeine Benutzung der Dampfkraft möglich wurde, und dadurch wurde Watt der Gründer einer neuen Aera für die Industrie. Der Bau der Dampfmaschine machte in kurzer Zeit ungeheure Fortschritte. Die Dampfmaschine ist in der That eine Mustermaschine geworden, an welcher die praktische Mechanik eine tüchtige Schule durchgemacht hat.

Wir können hier natürlich weder die Erfindungsgeschichte der Dampfmaschinen noch die Construction derselben ausführlicher besprechen und müssen uns darauf beschränken, die Wirkungsweise derselben an den einfachsten Formen zu erläutern.

Zu den einfachsten Formen der Dampfmaschine gehört ohne Zweifel die Hochdruckmaschine, wie sie in Fig. 670 auf S. 767 im Durchschnitt, und in Fig. 671 S. 768 in vorderer Ansicht dargestellt ist. Durch das Rohr z gelangt der Dampf aus dem Dampfkessel zunächst in den Dampfraum K, von welchem aus zwei Canäle zum Cylinder A führen; der eine mündet am oberen Ende des Cylinders bei e, der andere am unteren Ende bei d. Durch den Vertheilungsschieber, den wir alsbald näher betrachten wollen, wird bewirkt, dass der Dampf abwechselnd unten und dann wieder oben in den Cylinder einströmt und den Kolben C abwechselnd auf und nieder treibt.

Die Kolbenstange bewegt sich luft- und dampfdicht durch eine Stopfbüchse, welche sich in der Mitte des oberen Cylinderdeckels befindet.

An der Kolbenstange ist zunächst die Pleuelstange (Treibstange) P befestigt, welche durch Vermittelung der Kurbel Q die alternirende Bewegung des Kolbens in eine gleichförmige Rotationsbewegung verwandelt. Die Axe der Kurbel Q ist die Hauptaxe der Maschine, welche in Bewegung gesetzt werden soll; an dieser Axe ist auch das Schwungrad X befestigt, welches dazu dient, kleinere Ungleichheiten im Gange der Maschine auszugleichen.

Um den verticalen Gang der Kolbenstange zu sichern, ist am oberen Ende derselben ein Querstück q, Fig. 671, angebracht, welches durch die zu beiden Seiten stehenden eisernen Säulen l geführt wird.

Die Bewegung des Kolbens C ist begreiflicherweise nicht gleichförmig, da derselbe am oberen und unteren Ende seiner Bahn momentan

Fig. 670.

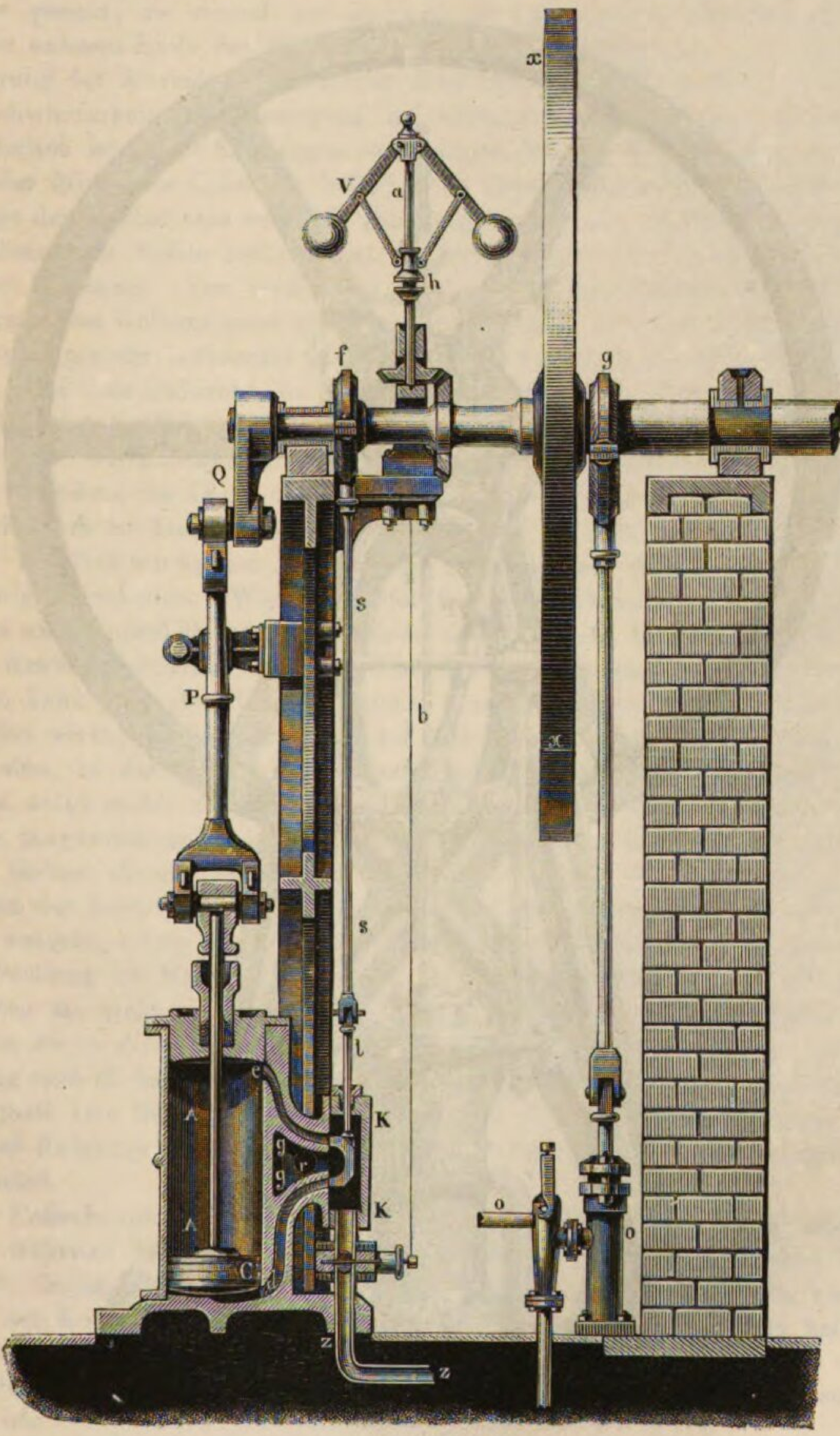
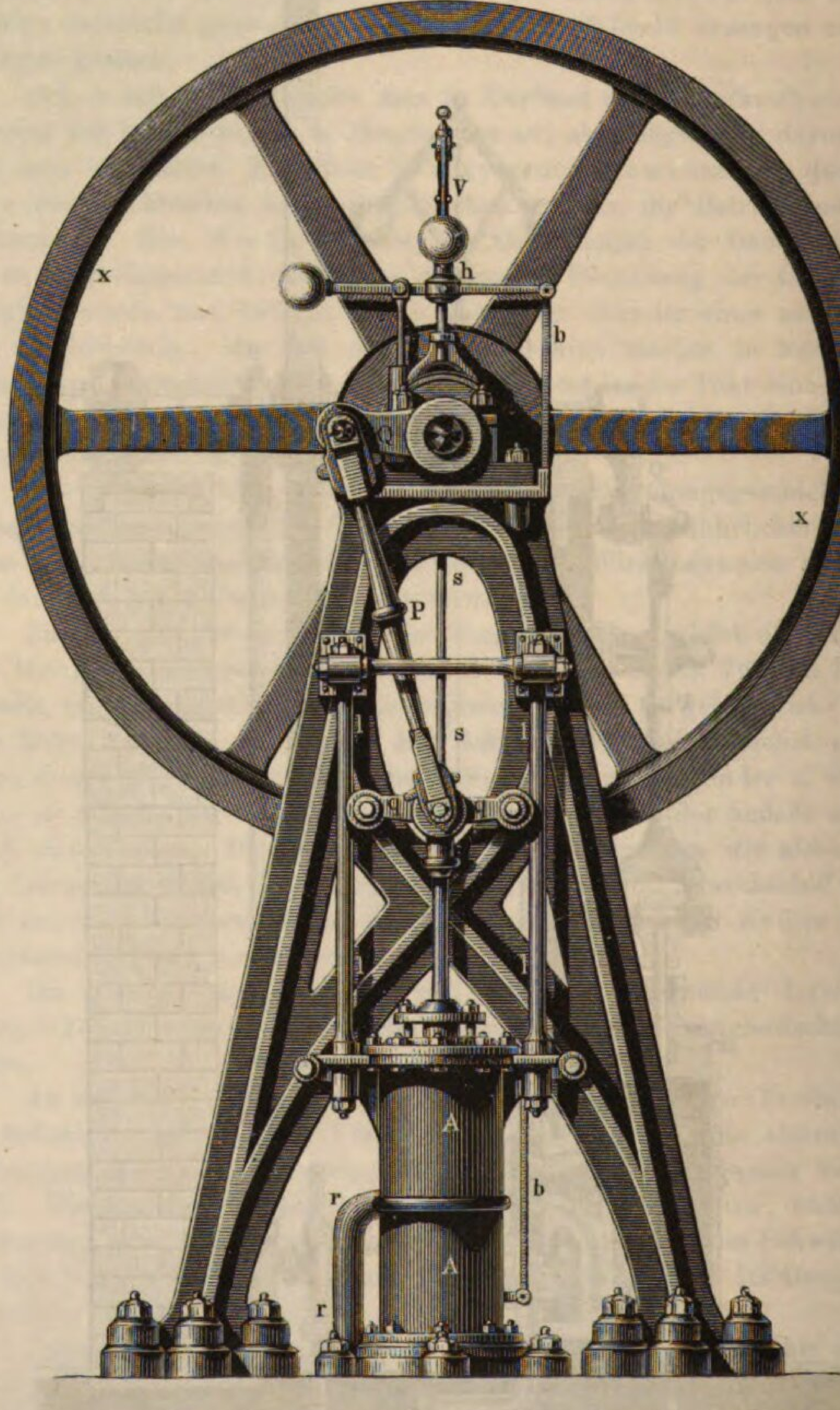


Fig. 671.



zur Ruhe kommt, um dann die Richtung seiner Bewegung umzukehren. Seine Geschwindigkeit ist am grössten, wenn er eben die Mitte des Cylinders passirt; sie nimmt um so mehr ab, je mehr er sich dem oberen oder unteren Ende des Cylinders nähert. Betrachten wir nun die Bewegung der Kurbel, so finden wir, dass bei gleichförmiger Umdrehungsgeschwindigkeit ihre Bewegung im verticalen Sinne dennoch sehr veränderlich ist. Der Kurbelarm steht wagerecht, wenn der Kolben *C* sich in der Mitte des Cylinders befindet, in diesem Momente hat die Bewegung der Kurbel eine verticale Richtung; wenn aber der Kolben *C* seine höchste oder tiefste Stellung hat, so bewegt sich die Kurbel in horizontaler Richtung. Der verticale Antheil der Kurbelbewegung ist der Bewegung des Kolbens ganz gleich; in dem Maasse, in welchem die Kurbelbewegung mehr horizontal wird, nimmt die Geschwindigkeit des Kolbens ab, ohne dass dadurch eine Verminderung in der Umdrehungsgeschwindigkeit der Kurbel erfolgte.

Der Durchmesser der Kurbelbahn ist begreiflicherweise der Höhe des Cylinders, die Dicke des Kolbens abgerechnet, gleich; die Länge des Kurbelarms ist demnach der halben Hubhöhe des Kolbens gleich.

Das Schwungrad *X* dient dazu, die Bewegung der Maschine gleichförmig zu erhalten. Wenn auch der Druck des Dampfes auf den Kolben ganz unveränderlich wäre, so würde er doch nicht bei allen Stellungen der Kurbel gleichviel zu deren Umdrehung beitragen können. In der That kann man den Druck, welcher durch die Treibstange *P* auf die Kurbel wirkt, in zwei zu einander rechwinklige Kräfte zerlegt denken; die eine, in der Richtung der Kurbel selbst als Druck auf die Axe wirkend, trägt nichts zur Umdrehung bei, welche ganz allein durch die andere, tangential zur Kurbelbahn wirkende Seitenkraft hervorgebracht wird. Die Grösse dieser beiden Kräfte ändert sich aber in jedem Momente. Wenn der Kurbelarm vertical steht, wirkt jeder Druck, welcher vom Kolben ausgeht, einzig und allein als Druck auf die Kurbelaxe. Wenn in dieser Stellung die Maschine stillstände, so würde der grösste Druck auf den Kolben sie nicht in Bewegung setzen können; dass also die Maschine, indem sie in diese Stellung kommt, nicht absolut stillstehen bleibt, rührt einzig und allein daher, dass die einzelnen Maschinentheile vermöge ihrer Trägheit ihre Bewegung fortsetzen, gerade so wie ein Pendel, wenn es in der Ruhelage ankommt, doch vermöge seiner Trägheit die Bewegung fortsetzt.

Ueberhaupt wird der Lauf der Maschine eine Beschleunigung erfahren, während der Kolben sich in der Nähe der Mitte des Cylinders bewegt; dagegen tritt eine Verzögerung im Laufe der Maschine ein, wenn sich der Kolben nahe am oberen oder unteren Ende des Cylinders befindet; diese Ungleichförmigkeiten werden aber durch das Schwungrad um so mehr ausgeglichen, je grösser die Masse und der Halbmesser desselben ist.

Betrachten wir nun die Steuerung der Maschine, d. h. die Vor-

richtung, durch welche bewirkt wird, dass der aus dem Kessel kommende Dampf, welcher bei diesen Maschinen eine Spannkraft von 4 bis 6 Atmosphären erreicht, abwechselnd unten und dann wieder oben in den Cylinder eintritt. In der dem Cylinder zugekehrten Wand des Dampfraumes K befinden sich drei Oeffnungen, von denen die eine mit dem oberen, die andere mit dem unteren Theile des Cylinders in Verbindung steht, während die mittlere zu einer Höhlung g, Fig. 670, führt, aus welcher der verbrauchte Dampf durch das Rohr r in die freie Luft gelangt. Vor diesen Oeffnungen bewegt sich nun der *Vertheilungsschieber*, dessen Einrichtung aus Fig. 672 näher zu ersehen ist. In der Stellung, wie sie Fig. 670 zeigt, sind beide Canäle durch den Schieber verschlossen, es strömt *gar kein* Dampf in den Cylinder, denn es ist ja dies der Moment, in welchem der Kolben gerade seine tiefste Stellung hat, in welchem die Maschine im sogenannten *todten Punkte* angelangt ist. In dem Maasse aber, als der Kolben steigt, wird auch der Schieber gehoben; er erreicht seine höchste Stellung, wenn der aufsteigende Kolben gerade die Mitte des Cylinders erreicht, also seine grösste Geschwindigkeit erlangt hat. In diesem Momente ist die untere Oeffnung ganz frei, Fig. 673, so dass der Dampf mit voller Kraft in den unteren Theil des Cylinders einströmen kann, während der verbrauchte Dampf aus dem oberen Theil des Cylinders durch den Canal e und die Höhlung des Schiebers nach g gelangt und von da durch r (in Fig. 673 und 674 steht a an der Stelle von r) entweicht.

Fig. 672.

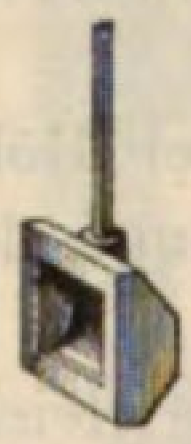


Fig. 673.

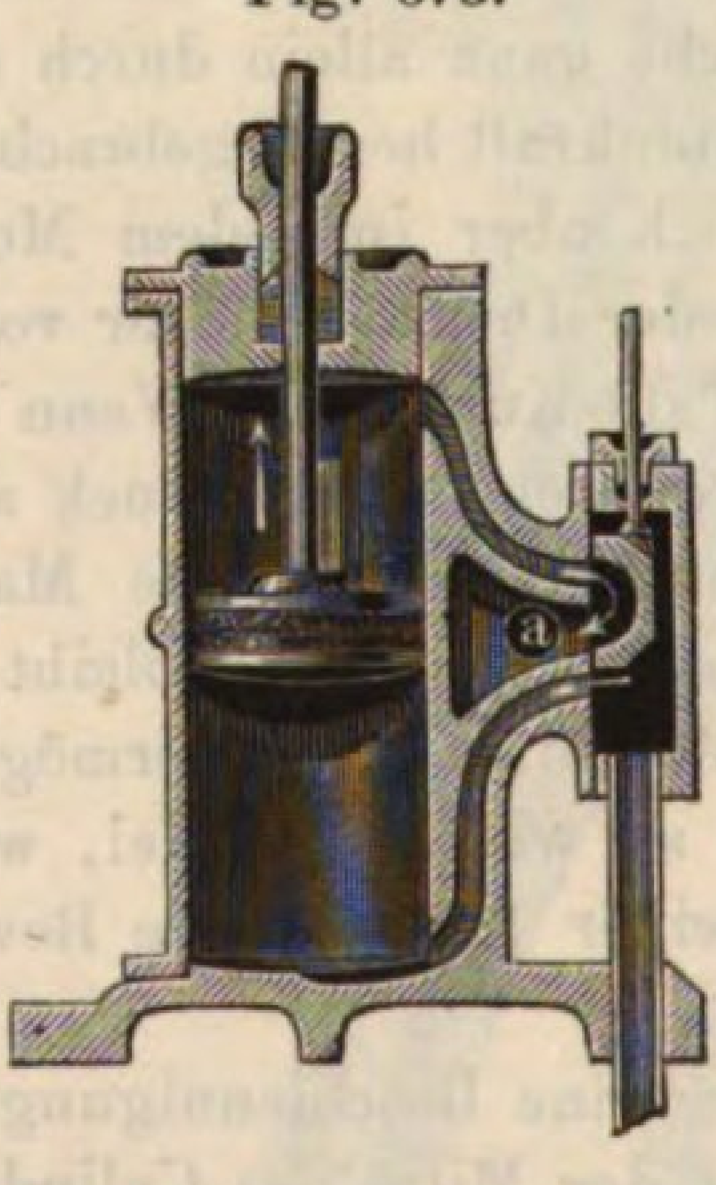
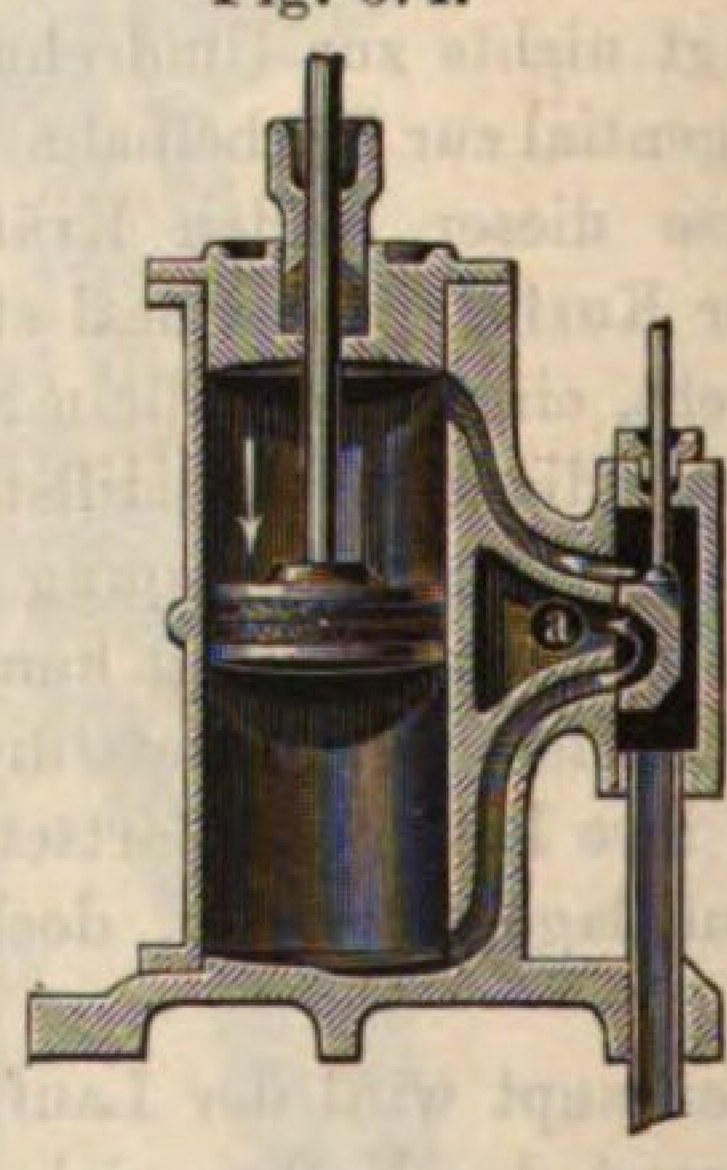


Fig. 674.

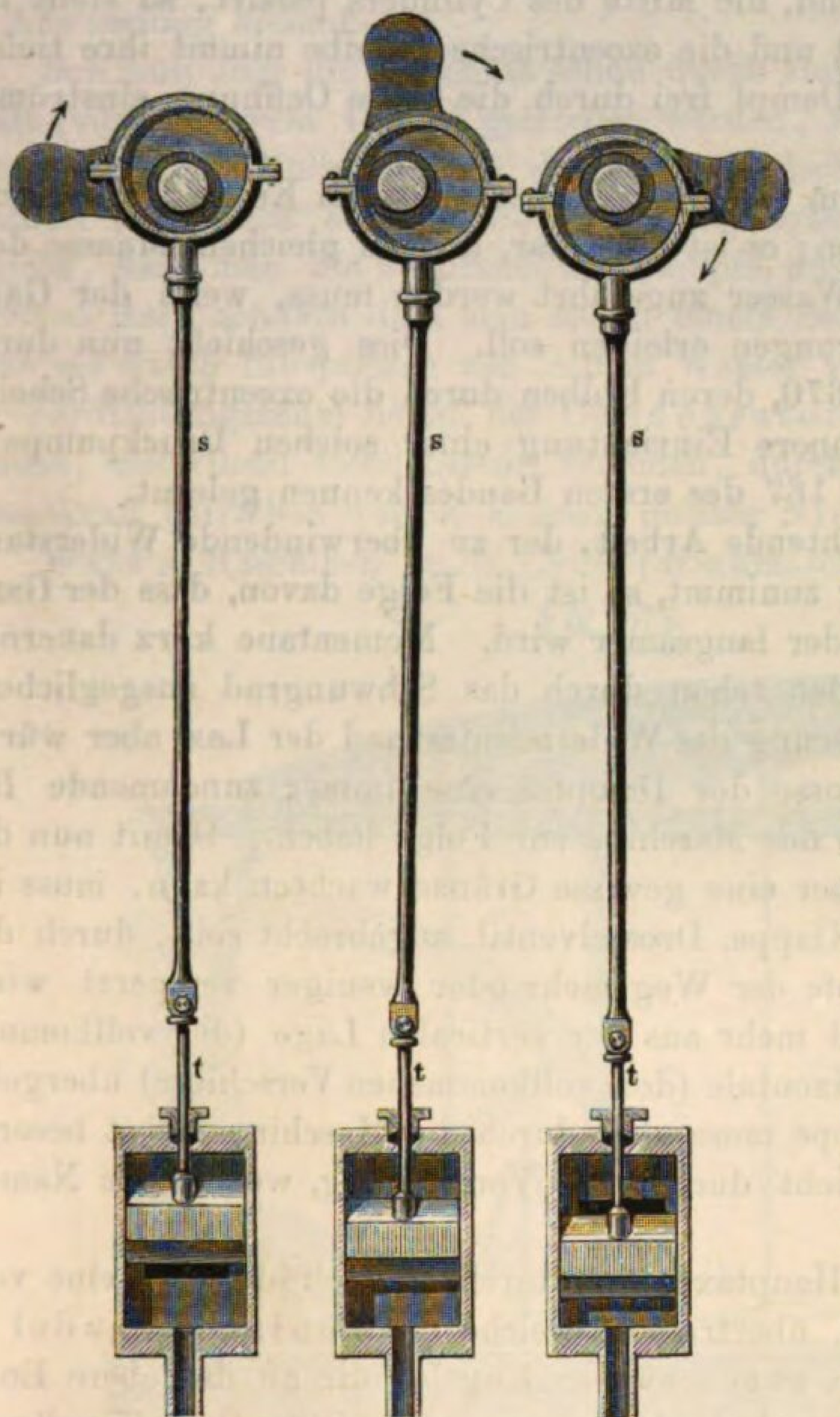


Nähert sich der Kolben mit abnehmender Geschwindigkeit dem oberen Ende des Cylinders, so geht der Schieber allmälig wieder nieder, um alle Oeffnungen in dem Augenblicke zu schliessen, in welchem der Kolben das oberste Ende seiner Bahn erreicht. Während darauf der Kolben wieder niedergeht, fährt auch die niedergehende Bewegung des Schiebers noch fort, bis der Kolben wieder in der Mitte des Cylinders angekommen

ist, wo dann die obere Oeffnung ganz frei ist, Fig. 674, und der Dampf aus der unteren Hälfte des Cylinders durch die Höhlung des Schiebers entweicht.

Die eben betrachtete Bewegung des Vertheilungsschiebers muss natürlich durch die Maschine selbst bewerkstelligt werden, und zwar geschieht dies durch die excentrische Scheibe *f*, die wir in Fig. 670 von der Seite sehen. Die Figuren 675, 676 und 677 zeigen dieselbe von vorn gesehen in drei Hauptstellungen.

Fig. 675. Fig. 676. Fig. 677.



Die excentrische Scheibe ist eine kreisförmige Scheibe, die an der Hauptaxe der Maschine befestigt ist, deren Mittelpunkt aber nicht mit dem Mittelpunkte der Axe zusammenfällt, so dass bei jeder Umdrehung der Axe der Mittelpunkt der excentrischen Scheibe einen kleinen Kreis zu beschreiben hat, dessen Durchmesser der Bahn gleich ist, welche der Schieber bei seiner auf- und niedergehenden Bewegung zurücklegt.

Um den Umfang dieser Scheibe ist ein Ring gelegt, an welchem die Stange *s* befestigt ist; an der Stange *s* hängt nun wieder mittelst eines Gelenkes die Schieberstange *t*, und so ist klar, dass der Schieber aufwärts gezogen wird, während der Mittelpunkt der excentrischen Scheibe durch die Umdrehung der Axe aus seiner tiefsten in seine höchste Stellung gelangt, dass umgekehrt der Schieber niedergedrückt wird, während der Mittelpunkt der excentrischen Scheibe auf der anderen Hälfte seiner Bahn niedergeht.

Da der Dampf unten voll einströmen muss, wenn der Kolben in aufgehender Bewegung die Mitte des Cylinders passirt, so muss der Mittel-

punkt der excentrischen Scheibe seinen höchsten Stand einnehmen, wenn der Kurbelarm eben wagerecht steht, Fig. 675. Gelangt der Kurbelarm in seine höchste Stellung, so dass er vertical nach oben gerichtet ist, so steht jetzt der Mittelpunkt der excentrischen Scheibe in gleicher Höhe mit dem Mittelpunkte der Axe, der Schieber befindet sich gerade in der Mitte seiner Bahn und verschliesst alle Oeffnungen, Fig. 676. Wenn der Kolben, nach unten gehend, die Mitte des Cylinders passirt, so steht die Kurbel wieder wagerecht und die excentrische Scheibe nimmt ihre tiefste Stellung ein, damit der Dampf frei durch die obere Oeffnung einströmen könne, Fig. 677.

Um die Maschine im Gange zu halten, muss im Kessel fortwährend Wasser verdampft werden; es ist also klar, dass in gleichem Maasse dem Kessel wieder frisches Wasser zugeführt werden muss, wenn der Gang der Maschine keine Störungen erleiden soll. Dies geschieht nun durch die Druckpumpe *o*, Fig. 670, deren Kolben durch die excentrische Scheibe *g* bewegt wird. Die innere Einrichtung einer solchen Druckpumpe *o* haben wir bereits auf S. 167 des ersten Bandes kennen gelernt.

Wenn die zu verrichtende Arbeit, der zu überwindende Widerstand im Allgemeinen ab- oder zunimmt, so ist die Folge davon, dass der Gang der Maschine schneller oder langsamer wird. Momentane kurz dauernde Störungen der Art werden schon durch das Schwungrad ausgeglichen; eine allgemeine Verminderung des Widerstandes und der Last aber würde bei unverändertem Zuflusse des Dampfes eine immer zunehmende Beschleunigung des Ganges der Maschine zur Folge haben. Damit nun die Geschwindigkeit nicht über eine gewisse Gränze wachsen kann, muss im Dampfzuflussrohre eine Klappe, Drosselventil, angebracht sein, durch deren Drehung dem Dampfe der Weg mehr oder weniger versperrt wird, je nachdem sie mehr und mehr aus der verticalen Lage (der vollkommenen Oeffnung) in die horizontale (den vollkommenen Verschluss) übergeht. Die Drehung dieser Klappe muss aber durch die Maschine selbst besorgt werden, und dies geschieht durch eine Vorrichtung, welche den Namen Regulator führt.

Die Bewegung der Hauptaxe wird durch Winkelräder auf eine verticale Axe *a*, Fig. 670, übertragen, welche das konische Pendel *V* trägt; es besteht dies aus zwei schweren Kugeln, die an das obere Ende der Stange *a* so angehängt sind, dass sie vermöge ihrer Centrifugalkraft auseinanderfahren, wenn die Axe *a* rasch umgedreht wird; sobald dies aber geschieht, wird die Hülse *h* gehoben und dadurch die Stange *b* in die Höhe gezogen (in Fig 670 ist dieselbe nur durch eine Linie angedeutet), dadurch aber wird das Drosselventil *n* um seine Axe gedreht und also der Zufluss des Dampfes um so mehr gehemmt, je rascher die Maschine läuft.

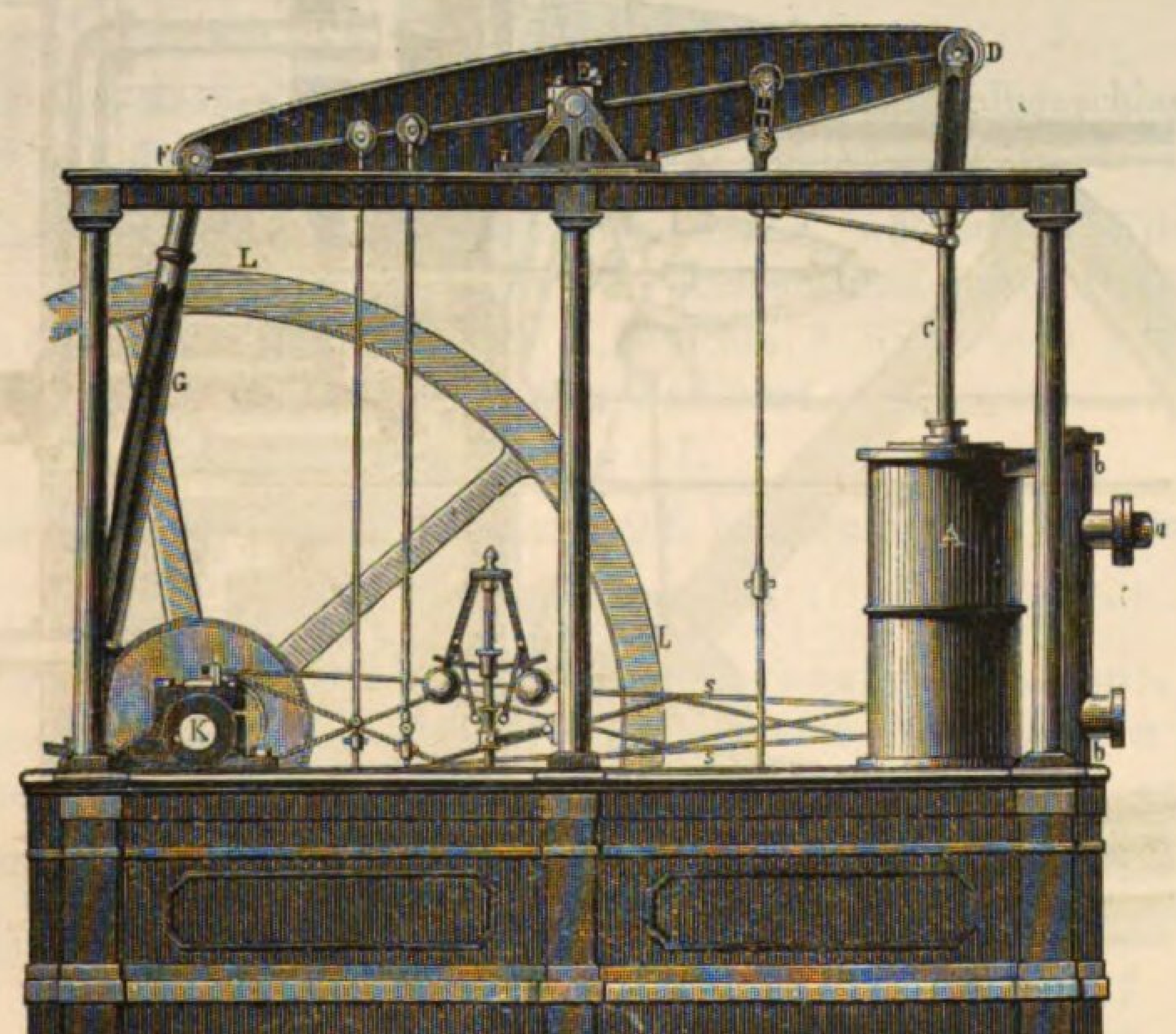
247 **Niederdruckmaschinen.** Bei den eben besprochenen Maschinen ist die eine Seite des Cylinders mit der atmosphärischen Luft in Ver-

bindung, so dass auf dieser Seite des Kolbens der Druck der Atmosphäre lastet, während auf der anderen Seite der Druck des Dampfes wirkt; es ist klar, dass hier der Dampfdruck ein bedeutender sein muss, da ja ein Theil desselben noch zur Ueberwindung des Luftdrucks verwandt wird und nur der Rest der Bewegung zu gut kommt. Solche Maschinen heissen Hochdruckmaschinen, weil in ihnen Dampf von hoher Spannung in Anwendung kommt.

Soll nun aber die Maschine schon durch Dampf von geringer Spannkraft (von niederem Druck) getrieben werden, so darf man auf der anderen Seite des Kolbens nicht die atmosphärische Luft drücken lassen, sondern man muss einen verdünnten Raum erzeugen, was dadurch geschieht, dass man die verbrauchten Dämpfe nicht in die freie Luft ausströmen lässt, sondern dass man sie zu einem Behälter hinleitet, in welchem sie durch Einspritzen von kaltem Wasser verdichtet werden. Dieser Verdichtungsraum heisst der Condensator, und Dampfmaschinen, welche, mit einem Condensator versehen, durch Dämpfe von geringer Spannkraft getrieben werden können, heissen Niederdruckmaschinen.

Watt's Maschinen waren Niederdruckmaschinen. Fig. 678 stellt

Fig. 678.



eine Totalansicht, Fig. 679 (a.f.S.) stellt den Durchschnitt des unteren Theils der Maschine dar. Der Vertheilungsschieber hat hier eine etwas andere Einrichtung als der früher betrachtete. Der verbrauchte Dampf strömt durch den Canal *d*, Fig. 679, nach dem Condensator *e*, in welchem die Verdichtung der Dämpfe durch fortwährend eingespritztes Wasser bewirkt wird.

Das durch Einspritzen und durch Verdichtung der Dämpfe im Condensator sich sammelnde Wasser wird durch eine besondere Pumpe *h* fortgeschafft, welche die Condensatorpumpe oder auch die Luftpumpe heisst, weil sie ausser dem Wasser auch die Luft fortschafft, welche sich

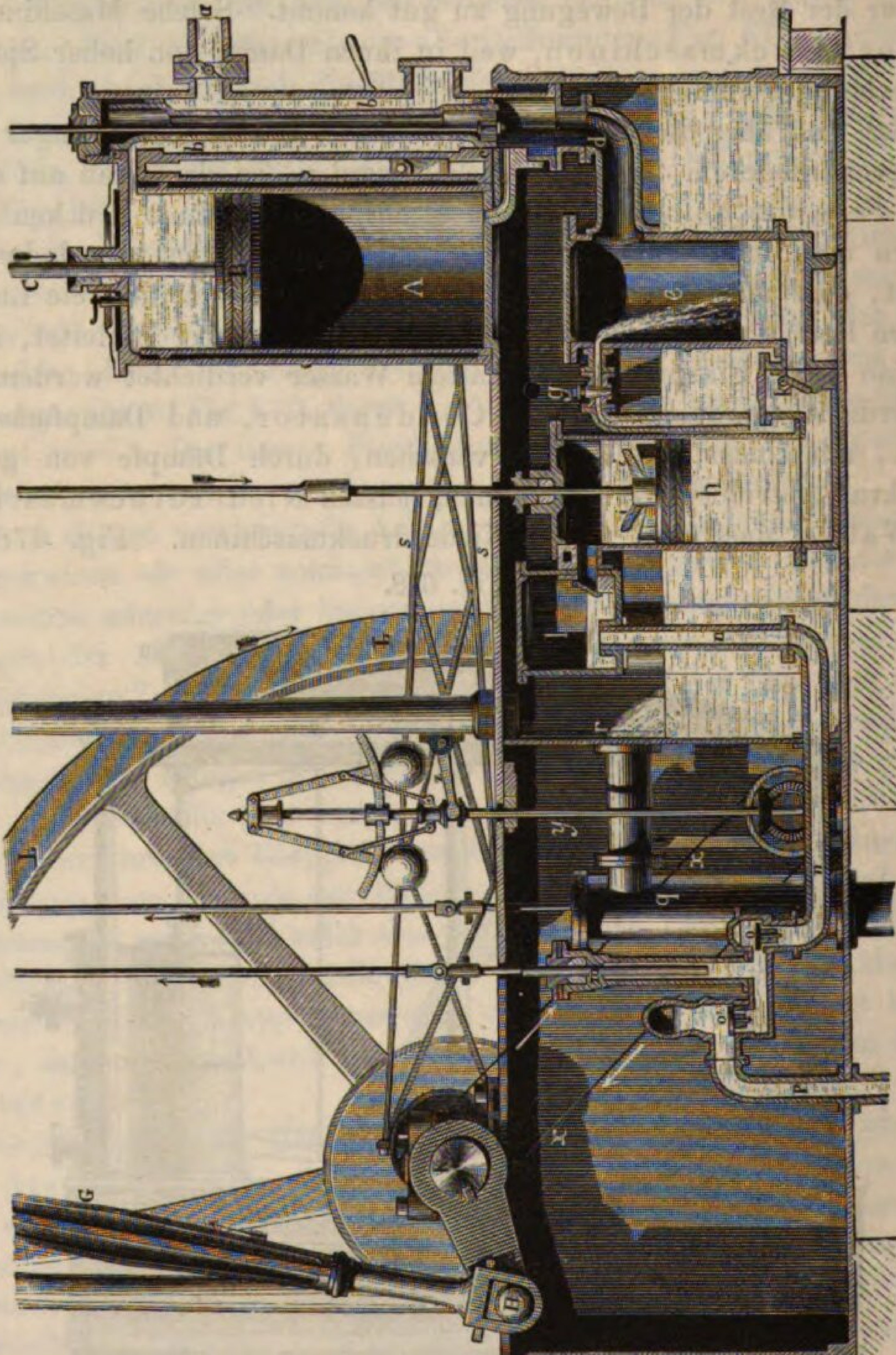


Fig. 679.

im Kessel beim Kochen des Wassers entbindet und mit den Dämpfen durch die Maschine geht.

Bei der Watt'schen Maschine wird die Bewegung der Kolbenstange zunächst auf einen zweiarmigen Hebel, den Balancier *DF*, Fig. 678, übertragen, an dessen anderem Ende die Pleuelstange *G* befestigt ist, welche die Umdrehung der Kurbel bewirkt.

Auch hier geschieht die Führung des Schiebers durch eine excentrische Scheibe, und der Regulator dieser Maschine wirkt ganz in ähnlicher Weise, wie bei der Hochdruckmaschine.

Berechnung des Effects der Dampfmaschinen. Es bezeichne 248

p die in Atmosphären ausgedrückte Spannkraft des Dampfes im Cylinder, von welcher wir annehmen wollen, dass sie der Spannkraft des Dampfes im Kessel gleich sei,

Q den Querschnitt des Kolbens in Quadratdecimetern,

L die Länge des Kolbenhubes in Decimetern, so ist

der wirksame Druck des Dampfes im Cylinder gegen 1 Quadratdecimeter 103,3 p Kilogramm

der wirksame Druck gegen den ganzen Kolben 103,3 p Q Kilogramm

die Kraftquantität, welche bei einem Kolbenschlage entwickelt wird . . 10,33 p . Q . L Meterkilogramm.

(Meterkilogramm = Kilogrammometer, Bd. I, Seite 287).

Demnach ergiebt sich für die Kraftquantität E, welche bei n Kolbenschlägen entwickelt wird,

$$E = 10{,}33 p \,.\, n \,.\, QL \text{ Meterkilogramm} \quad \ldots\ldots \quad 1)$$

Das vom Kolben beschriebene Volumen ist für 1 Kolbenschlag gleich QL, für n Kolbenschläge also gleich $n\,Q\,L$ Cubikdecimeter.

Macht nun der Kolben n Kolbenschläge, während 1 Kilogramm Dampf verbraucht wird, so ist der vom Kolben unterdessen beschriebene Raum $n\,QL$ gleich dem Volumen V, welches 1 Kilogramm gesättigten Wasserdampfes von der Spannkraft p einnimmt, d. h. es ist

$$V = n\,QL.$$

Setzen wir V für das Product nQL in Gleichung 1), so kommt

$$E = 10{,}33 p \,.\, V \text{ Meterkilogramm} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

Dieser Werth von E ist die volle mechanische Arbeit, welche 1 Kilogramm Wasserdampf, in der angedeuteten Weise in einer Dampfmaschine verwendet, zu leisten im Stande ist.

Nach den Angaben in §. 227, S. 716 ist das Product:

10,33 p V für	1 Atmosphäre	Spannkraft	gleich	17364
„	4 „	„	„	19627
„	10 „	„	„	21383.

Nehmen wir an, dass eine Zeit von t Secunden nöthig sei, um im Kessel einer Dampfmaschine 1 Kilogramm Wasser zu verdampfen, so ist die in 1 Secunde geleistete mechanische Arbeit

$$e = \frac{E}{t} = \frac{10{,}33\,p\,V}{t}.$$

Da man für die Arbeit einer Pferdekraft 75 Meterkilogramm in 1 Secunde annimmt, so muss für eine Dampfmaschine, deren Arbeit gleich der einer Pferdekraft sein soll, $e = 75$ Meterkilogramm, oder

$$\frac{10,33\,p\,V}{t} = 75$$

$$t = \frac{10,33\,p\,V}{75}$$

sein. Für $p = 4$ Atmosphären erhalten wir also

$$t = \frac{19,627}{75} = 261'',$$

d. h. eine Dampfmaschine, welche bei einem Dampfdruck von 4 Atmosphären die Arbeit einer Pferdekraft leisten soll, wird 1 Kilogramm Wasserdampf in 261 Secunden oder nahezu $13\frac{1}{2}$ Kilogramm Wasserdampf in 1 Stunde consumiren.

Bei geringerer Spannkraft des Dampfes wird zur Erzeugung einer Pferdekraft etwas mehr, bei höherer Spannkraft wird etwas weniger als $13\frac{1}{2}$ Kilogramm Wasserdampf per Stunde nöthig sein.

Ein Theil der oben mit E bezeichneten durch den Wasserdampf in einer Dampfmaschine geleisteten Arbeit wird verwendet, um den auf der anderen Seite des Kolbens lastenden Druck (bei Hochdruckmaschinen den Druck der Atmosphäre, bei Niederdruckmaschinen einen aliquoten Theil des Atmosphärendrucks) zu bewältigen, ein anderer Theil wird durch Ueberwindung von Reibungswiderständen u. s. w. consumirt. Wie gross der zu nutzbarer Verwendung übrig bleibende Theil von E ist, hängt von der mehr oder minder zweckmässigen Construction der Maschine ab. Im Durchschnitt wird die nutzbar verwendbare Arbeit der Dampfmaschinen nicht viel mehr als $\frac{E}{2}$ betragen.

Einen grossen Vortheil hat man bei den Hochdruckmaschinen durch Anwendung der Expansion des Dampfes im Cylinder erlangt, welche dadurch hervorgebracht wird, dass der Dampfzufluss abgesperrt wird, wenn der Kolben erst einen Theil seines Weges, etwa $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$ u. s. w. zurückgelegt hat. Dass durch Anwendung des Expansionsprincips bei gleichem Dampfverbrauche ein grösserer Effect hervorgebracht wird, lässt sich durch folgende einfache Betrachtung einsehen.

In einen Dampfcylinder ströme während des ganzen Kolbenhubes, wie dies bei gewöhnlichen Maschinen der Fall ist, Dampf ein, dessen Spannkraft wir zu 2 Atmosphären annehmen wollen, so ist am Ende des Kolbenhubes der ganze Cylinder mit Dampf von 2 Atmosphären Spannkraft gefüllt, und während dieses Kolbenhubes ist ein mechanischer Effect hervorgebracht worden, den wir mit E bezeichnen wollen.

Liesse man nun in denselben Cylinder Dampf von doppelter, also von 4 Atmosphären Spannkraft eintreten, so würde der Druck gegen den

Kolben doppelt so gross sein, und der mechanische Effect E würde schon hervorgebracht worden sein, wenn der Kolben erst den halben Hub vollendet hat, wenn er in der Mitte des Cylinders angekommen ist. Wird nun in diesem Momente der fernere Zufluss des Dampfes in den Cylinder abgesperrt, so wird der Kolben die übrige Hälfte seines Weges fortsetzen, während der Druck, der ihn treibt, nach und nach bis zur Hälfte abnimmt, denn wenn er am Ende seiner Bahn ankommt, so ist die Spannkraft des Dampfes noch 2 Atmosphären.

Da schon während der ersten Hälfte des Kolbenhubes der mechanische Effect E hervorgebracht worden ist, so ist der ganze Effect, welchen der Dampf während der zweiten Hälfte des Kolbenhubes hervorbringt, während er sich also so ausdehnt, dass seine Spannkraft von 4 Atmosphären bis zu 2 Atmosphären abnimmt, als Gewinn zu betrachten; denn die Quantität des Dampfes, welche am Ende des Kolbenhubes den Cylinder erfüllt, ist gerade eben so gross, als ob während des ganzen Kolbenhubes Dampf von 2 Atmosphären Spannkraft eingeströmt wäre.

Die verschiedenen Vorrichtungen, durch welche eine rechtzeitige Absperrung des Dampfes in den Expansionsmaschinen bewirkt wird, können wir hier nicht näher betrachten.

Die Theorie der Dampfmaschinen, deren Elemente wir eben entwickelt haben, ist von Poncelet und Morin aufgestellt worden. Nach ihr nimmt man an, dass die Spannkraft des Dampfes im Cylinder gleich der im Kessel sei, was entschieden unrichtig ist, wie Pambour gezeigt hat. Dichtigkeit und Spannkraft des Dampfes im Cylinder sind stets geringer als im Kessel, und in Folge dessen ist der Effect der Dampfmaschine kleiner als man ihn nach der Poncelet-Morin'schen Theorie erwarten sollte. Dieser Unterschied ist vorzugsweise bei solchen Maschinen merklich, welche mit Expansion wirken, weil nach der älteren Theorie angenommen wird, dass sich der Dampf nach der Absperrung einfach nach dem Mariotte'schen Gesetze ausdehne, was durchaus nicht der Fall ist, wie wir später bei Betrachtung der mechanischen Wärmetheorie sehen werden.

Drittes Capitel.

Specifische Wärme der Körper.

249 **Begriff der specifischen Wärme.** Wenn man 1 Pfund Wasser von 10⁰ mit 1 Pfund Wasser von 60⁰ rasch mischt, so wird die Mischung nahezu die mittlere Temperatur von 35⁰ haben. Dieselbe Wärmemenge, welche das eine Pfund Wasser abgab, um von 60⁰ auf 35⁰, also um 25⁰ zu erkalten, hat auch gerade hingereicht, um die Temperatur des anderen Pfundes Wasser um eben so viel Grade, nämlich von 10⁰ auf 35⁰, zu erhöhen.

Anders verhält sich die Sache, wenn wir 1 Pfund Wasser mit 1 Pfund irgend einer anderen Substanz mengen. Giesst man z. B. 1 Pfund Wasser von 10⁰ und 1 Pfund Terpentinöl von 60⁰ zusammen, so wird die wohl durch einander gerüttelte Mengung nur eine Temperatur von ungefähr 24⁰ zeigen, das Pfund Terpentinöl hat also um 36⁰ erkalten müssen, damit 1 Pfund Wasser nur um 14⁰ erwärmt wird. Die nämliche Wärmemenge also, welche in 1 Pfund Terpentinöl eine Temperaturerhöhung von 36⁰ bewirkt, kann die Temperatur von 1 Pfund Wasser nur um 14⁰ erhöhen. Um also die Temperatur des Terpentinöls um eine bestimmte Anzahl von Graden zu erhöhen, bedarf es nur $\frac{14}{36}$ oder ungefähr 0,4 von der Wärmemenge, welche nöthig ist, um in einer gleichen Masse Wasser die gleiche Temperaturerhöhung hervorzubringen.

Aehnlich mit anderen Stoffen. Um gleiche Gewichtsmengen Wasser und Quecksilber um gleich viel Grade zu erwärmen, bedarf man für das letztere nur 0,033 der Wärmemenge, welche für das erstere erforderlich ist. Um gleiche Temperaturerhöhung zu bewirken, muss man dem Wasser 30mal so viel Wärme zuführen, als einer gleichen Masse Quecksilber, oder mit anderen Worten, die W ä r m e c a p a c i t ä t des Wassers ist ungefähr 30mal so gross als die des Quecksilbers.

Unter der specifischen Wärme eines Stoffes versteht man die Zahl der Wärmeeinheiten (Calorien), welche nöthig ist, um die Temperatur von 1 Gramm der Substanz um 1° C. zu erhöhen.

Den oben gemachten Angaben zufolge wäre also 0,033 die specifische Wärme des Quecksilbers und 0,4 die des Terpentinöls.

Um anschaulich zu machen, wie verschieden die specifische Wärme verschiedener Metalle ist, kann folgender von Tyndall angegebener Versuch dienen. Auf eine Scheibe von weissem Wachs, welche bei einem Durchmesser von 5 bis 6 Zoll $^1/_2$ Zoll dick ist und welche irgendwie von einem metallenen Ringe getragen wird (Fig. 680), legt man eine Bleikugel und eine gleich grosse Kupferkugel, welche in einem Oelbade auf ungefähr 130° C. erwärmt worden sind. Die Kupferkugel wird in kurzer Zeit die Wachsplatte durchschmolzen haben und herabfallen, während die sogar noch etwas schwerere Bleikugel durch die von ihr abgegebene Wärme die Wachsplatte nicht ganz zu durchschmelzen vermag. Bei gleicher Temperaturerniedrigung giebt also die Bleikugel nicht so viel Wärme ab wie die Kupferkugel, zu gleicher Temperaturerhöhung bedarf also die Kupferkugel auch eine grössere Wärmemenge als die Bleikugel, das Kupfer hat eine grössere specifische Wärme als das Blei.

Fig. 680.



Gleichbedeutend mit „specifischer Wärme" wird auch der Ausdruck Wärmecapacität gebraucht.

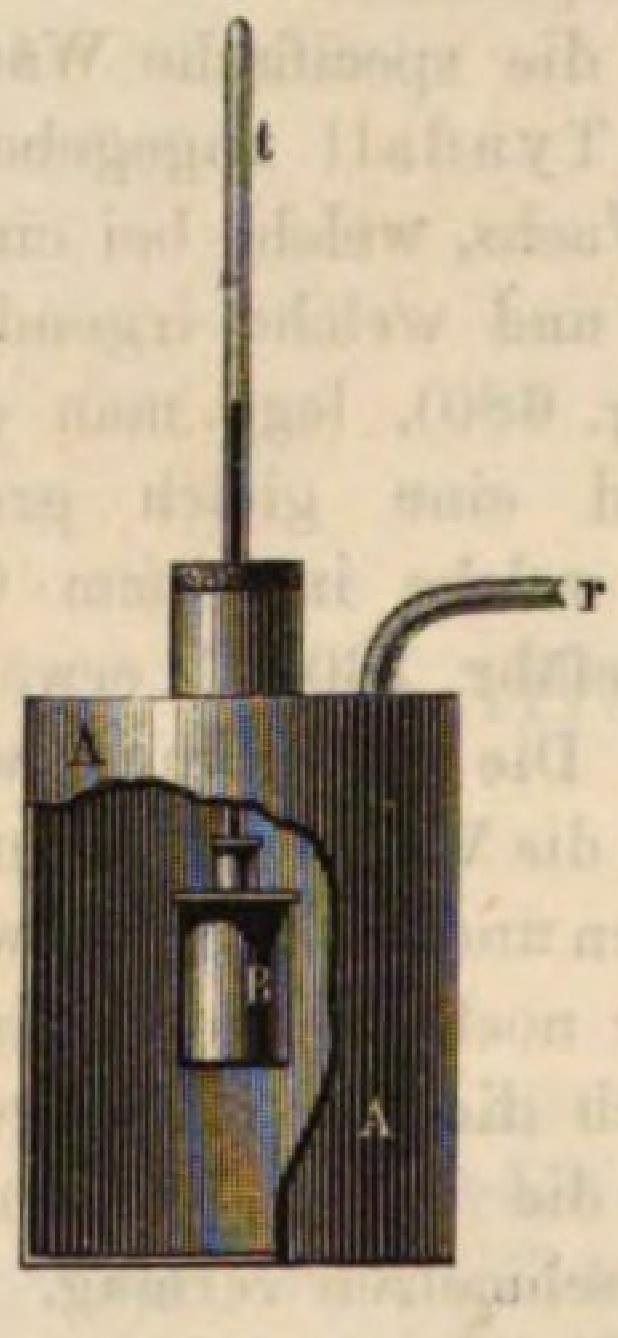
Um den Werth der specifischen Wärme für verschiedene Körper zu ermitteln, hat man hauptsächlich drei Methoden in Anwendung gebracht, die wir nun der Reihe nach betrachten wollen.

Methode des Erkaltens. Wenn ein erwärmter Körper in einen Raum gebracht wird, in dem er nur durch Wärmestrahlung erkalten kann, so wird er unter übrigens gleichen Umständen um so langsamer erkalten, je grösser seine specifische Wärme ist. Darauf gründete zuerst Mayer ein Verfahren, um die specifische Wärme der Körper zu ermitteln; später haben Dulong und Petit nach dieser Methode die specifische Wärme einer Reihe von Körpern mit grosser Sorgfalt bestimmt. 250

Der Apparat, den sie anwandten, hatte ungefähr die Fig. 681, a. f. S., dargestellte Einrichtung. Er besteht aus einem bleiernen Behälter A, dessen innere Wände mit Russ geschwärzt sind und welcher luftleer gemacht werden kann. In der Mitte dieses Raumes befindet sich ein kleines aus dünnem Silberblech verfertigtes Büchschen B, welches die zum Versuch bestimmte Substanz enthält. Wenn dieser Körper ein fester ist, so wird er gepulvert und das Pulver fest in das silberne Gefäss hinein-

gedrückt. In der Mitte von B befindet sich das Gefäss eines Thermometers, welches ringsum von der die Büchse füllenden Substanz umgeben ist. Das Rohr dieses Thermometers kann luftdicht in den Deckel des Gefässes A eingesetzt werden. Das Rohr r dient zum Evacuiren.

Fig. 681.



Das Silbergefäss wurde nun mit der darin enthaltenen Substanz auf 15° bis 20° C. erwärmt und in das bleierne Gefäss A hineingebracht, welches selbst in ein Wasserbad von constanter Temperatur eingetaucht ist. Nun wird das Gefäss A luftleer gemacht, und man beobachtet, wie viel Zeit nöthig ist, damit das Thermometer von einer Temperatur, welche die Temperatur des Wasserbades um 10° übersteigt, um 5° fällt.

Wenn nun die silberne Hülle in gleichen Zeiten gleich viel Wärme ausstrahlt, so ist offenbar der Wärmeverlust, welchen die ganze Masse während der Temperaturerniedrigung von 5° C. erleidet, der Zeit proportional, welche zu dieser Erkaltung nöthig ist.

Gesetzt nun, für irgend eine Substanz sei diese Zeit gleich z, für eine andere sei sie z', so verhalten sich offenbar die während einer Temperaturerniedrigung von 5° C. abgegebenen Wärmemengen wie z zu z'; wenn aber m und m' die Gewichte, c und c' die Wärmecapacitäten der beiden Körper bezeichnen, so sind die Wärmemengen, welche sie während einer Temperaturerniedrigung von 5° C. abgeben, $5\,mc$ und $5\,m'c'$, man hat also

$$\frac{mc}{m'c'} = \frac{z}{z'},$$

und danach lässt sich das Verhältniss der Wärmecapacitäten c und c' berechnen; doch muss man, wenn die Rechnung genaue Resultate geben soll, auch noch die von der Silberhülle selbst und dem Thermometer abgegebene Wärme in Rechnung bringen.

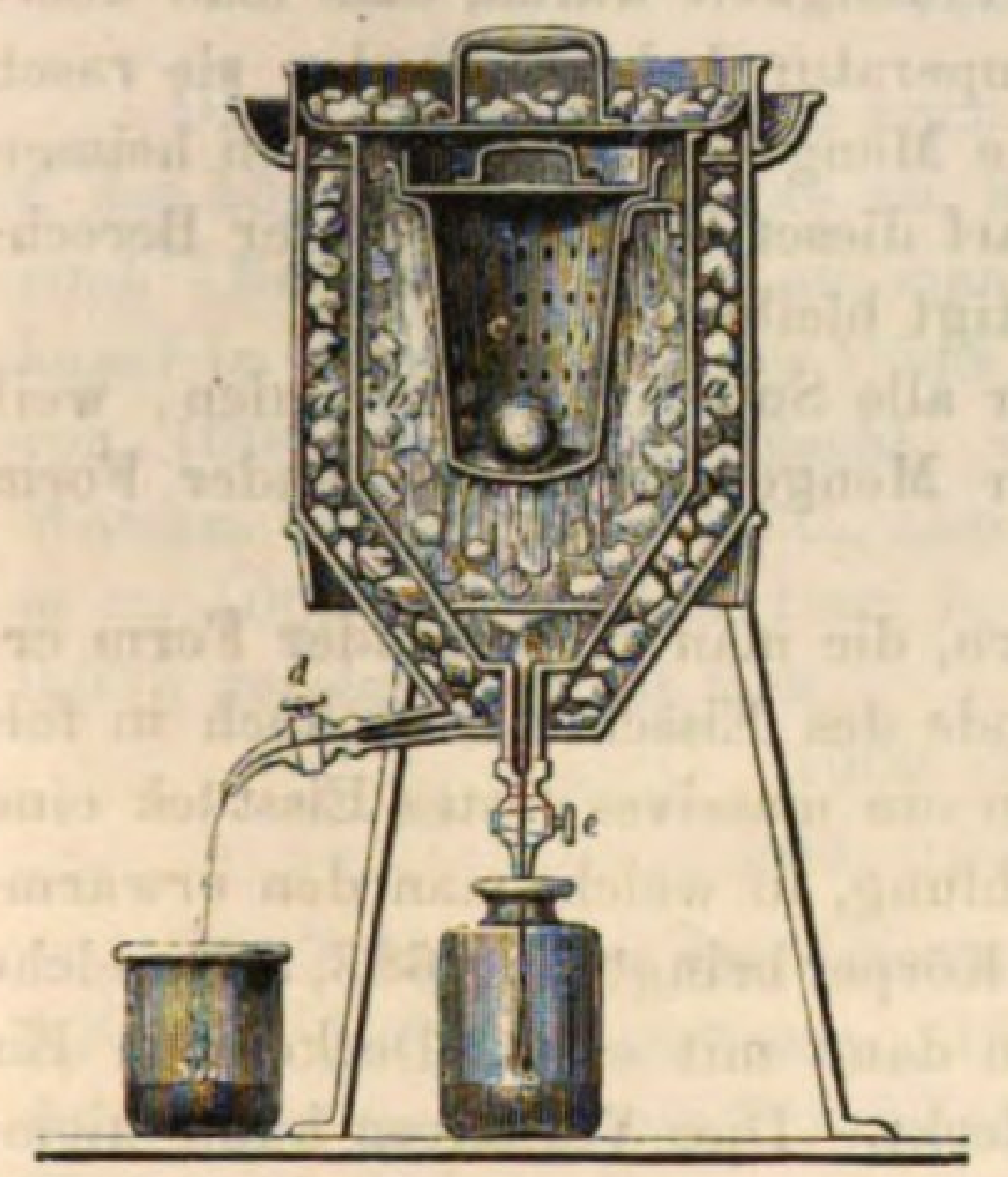
Regnault hat gezeigt, dass diese Methode keine ganz zuverlässigen Resultate geben kann, weil sie Vieles voraussetzt, was nicht bewiesen ist; sie setzt nämlich voraus, dass das Erkalten durch alle Partien der Substanz gleichmässig vor sich geht und dass alle Substanzen ihre Wärme mit gleicher Leichtigkeit an der Silberhülle abgeben.

Die folgende kleine Tabelle enthält die specifische Wärme einiger Flüssigkeiten, welche Regnault nach der Erkaltungsmethode bestimmt hat:

Terpentinöl		0,423
Alkohol, specif. Gew.	0,807	0,602
" " "	0,833	0,665
" " "	0,902	0,843
" " "	0,932	0,968
Benzol		0,386
Schwefelkohlenstoff		0,218
Aether		0,521

Die Methode des Eisschmelzens wurde von Lavoisier und 251
Laplace in Anwendung gebracht. In Fig. 682 ist das Eiscalorimeter dargestellt, dessen sie sich bedienten; es besteht aus drei Gefässen von Eisenblech, von denen das grösste das mittlere und dieses wieder das kleinste einhüllt. Der Zwischenraum zwischen dem ersten und zweiten Gefässe ist mit Eisstücken gefüllt und das in diesem Raume durch Schmelzung des Eises gebildete Wasser fliesst durch den Hahn *d* ab; der Zwischenraum zwischen dem zweiten und dritten Gefässe ist gleichfalls mit Eisstücken gefüllt, und das hier gebildete Wasser fliesst durch den Hahn *e* ab.

Fig. 682.



Wenn man nun in den innersten Raum den zu untersuchenden Körper bringt, so wird er bis auf 0 Grad erkalten; alle Wärme, welche er abgegeben hat, diente nur, um Eis zu schmelzen, welches durch den Hahn *e* abfloss, und wenn man die Masse und die anfängliche Temperatur des in den innersten Raum gebrachten Körpers kennt, wenn man ferner weiss, wie viel Eis durch die von ihm gegebene Wärme geschmolzen wurde, so kann man leicht die specifische Wärme des Körpers berechnen.

Ein Beispiel mag dies erläutern: Gesetzt, man habe eine auf 100° C. erwärmte eiserne, 2 Kilogramm schwere Kugel in das Calorimeter gebracht, so würde die von ihr während ihres Erkaltens bis auf 0° abgegebene Wärme ungefähr 293 Gramm Eis geschmolzen haben. Nun aber haben wir gesehen, dass die Wärme, welche 1 Kilogramm Wasser von 79 Graden abgiebt, um auf 0° zu erkalten, gerade hinreicht, um 1 Kilogramm Eis zu schmelzen; hätte man also 2 Kilogramm Wasser von 79° C. in den Apparat gebracht, so würden 2 Kilogramm Eis geschmolzen worden sein, 2 Kilogramm Wasser von 100° C. würden also 2530 Gramm

Eis geschmolzen haben. Die specifische Wärme des Eisens verhält sich also zu der des Wassers wie 293 zu 2530, sie ist also

$$\frac{293}{2530} = 0{,}115.$$

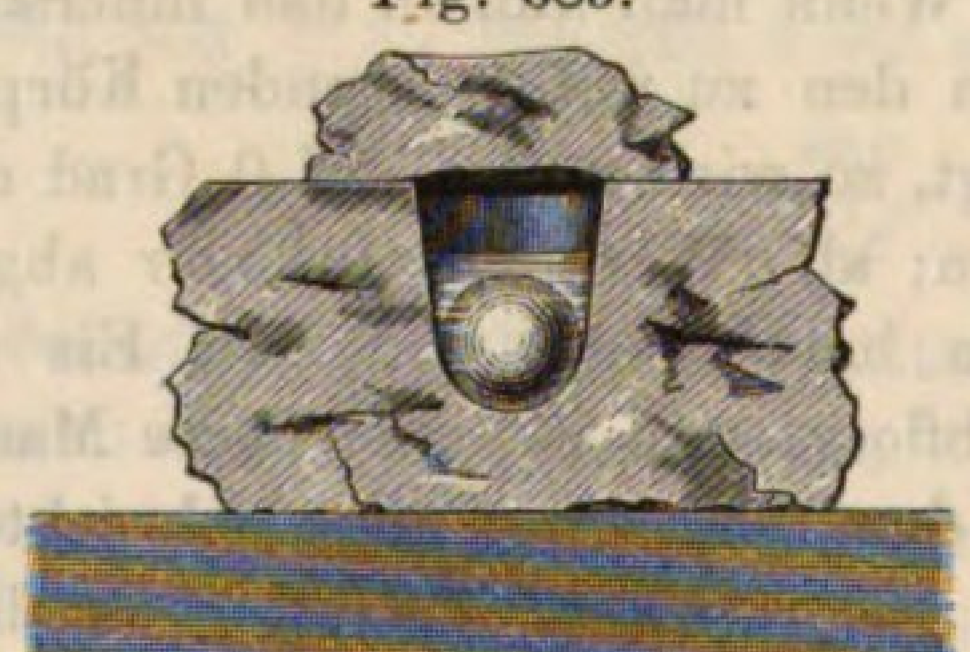
Das Eis in dem äusseren Mantel des Calorimeters dient nur dazu, die Wärme der äusseren Umgebung abzuhalten, so dass man überzeugt sein kann, dass alles Wasser, welches durch den Hahn *e* abfliesst, durch die Wärme gebildet worden ist, welche der in den innersten Theil des Calorimeters gebrachte Körper abgegeben hat, und dass in dem inneren Mantel des Apparates kein Eis durch die von aussen eindringende Wärme geschmolzen werden kann.

Die Körper, deren specifische Wärme bestimmt werden soll, werden, bevor man sie in den Apparat bringt, dadurch bis zu einem bestimmten Temperaturgrade erwärmt, dass man sie in heisses Wasser oder heisses Oel taucht. Wenn sie so lange in der Flüssigkeit waren, dass man überzeugt sein kann, dass sie dieselbe Temperatur haben, werden sie rasch in das Calorimeter gebracht. Wenn die Menge der anhängenden heissen Flüssigkeit nur etwas bedeutend ist, darf dieser Umstand bei der Berechnung der Resultate nicht unberücksichtigt bleiben.

Diese Methode lässt sich nicht für alle Substanzen anwenden, weil man sie nicht immer in hinreichender Menge und in passender Form erhalten kann.

Die specifische Wärme von Körpern, die man in passender Form erhalten kann, lässt sich nach der Methode des Eisschmelzens auch in folgender Weise ermitteln; man macht in ein massives festes Eisstück eine Höhlung, in welche man den erwärmten Körper bringt, Fig. 683, und welche man dann mit einem Deckel von Eis bedeckt. Dies Verfahren kann ziemlich genaue Resultate geben, wenn die Temperatur des Eisstückes sowohl als die der umgebenden Luft 0° ist.

Fig. 683.



252 **Mengungsmethode.** Diese Methode besteht im Wesentlichen darin, dass man eine gewogene Menge des zu untersuchenden Körpers bis auf eine bestimmte Temperatur erwärmt und dann in ein Gefäss mit Wasser eintaucht, dessen Temperatur durch Abkühlung jenes Körpers erhöht wird; kennt man nun die Quantität des Kühlwassers, hat man ermittelt, welche Temperaturerhöhung es durch die Abkühlung des eingetauchten Körpers erleidet, so lässt sich daraus die specifische Wärme dieses Körpers berechnen.

Bezeichnen wir mit m das Gewicht und mit t die Temperaturerhöhung des Kühlwassers, so beträgt die Wärmemenge, welche das Wasser aufge-

nommen hat, mt Wärmeeinheiten. Bezeichnen wir ferner mit m' das Gewicht, mit t' die Temperaturerniedrigung und mit s die specifische Wärme des abgekühlten Körpers, so ist $sm't'$ die Wärmemenge, welche er an das Wasser abgegeben hat; wir haben also

$$sm't' = mt$$

und daraus

$$s = \frac{mt}{m't'} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

Nehmen wir z. B. an, eine 200 Gramm schwere auf 100° C. erwärmte Platinkugel sei in eine 15° C. warme Wassermasse von 105 Gr. eingetaucht worden und habe sie durch ihre Abkühlung auf 20° C. erwärmt, so ist $m = 105$, $t = 5^0$ C.; $m' = 200$ und $t' = 80^0$ C., also die specifische Wärme des Platins

$$s = \frac{525}{16000} = 0{,}0328.$$

Die Gleichung 1) kann auch dienen, um die Temperaturerniedrigung t' des abgekühlten Körpers zu berechnen, wenn s, m, t und m' bekannt sind. Nehmen wir z. B. an, man hätte eine 200 Gramm schwere Platinkugel in dem Feuer eines Ofens erhitzt, sie dann in einer Wassermasse von 1000 Gramm abgelöscht, und dadurch wäre die Temperatur des Wassers von 13° auf 20° C., also um 7° C. erhöht worden, so haben wir $m = 1000$, $m' = 200$, $t = 7$; die specifische Wärme des Platins $s = 0{,}033$ gesetzt, ergiebt sich

$$t' = \frac{1000 \,.\, 7}{200 \,.\, 0{,}033} = \frac{7000}{6{,}6} = 1061.$$

Die Temperatur der heissen Platinkugel wäre demnach 1061° über 20°, also 1081° C., gewesen. Dieses Resultat ist jedoch nur eine erste Annäherung, weil, wie Pouillet gezeigt hat, die specifische Wärme des Platins für höhere Temperaturen zunimmt. Aus einer Tabelle, die alsbald folgen wird, sieht man, dass zwischen 0° und 1000° C., und das ist ja, wie wir aus der ersten Näherungsrechnung sehen, die Temperatur, welche die Platinkugel ungefähr hatte, die specifische Wärme des Platins gleich 0,0373 ist. Diesen Werth haben wir also für s in obige Gleichung zu setzen, und dann ergiebt sich

$$t' = \frac{1000 \,.\, 7}{200 \,.\, 0{,}0373} = \frac{7000}{7{,}46} = 938.$$

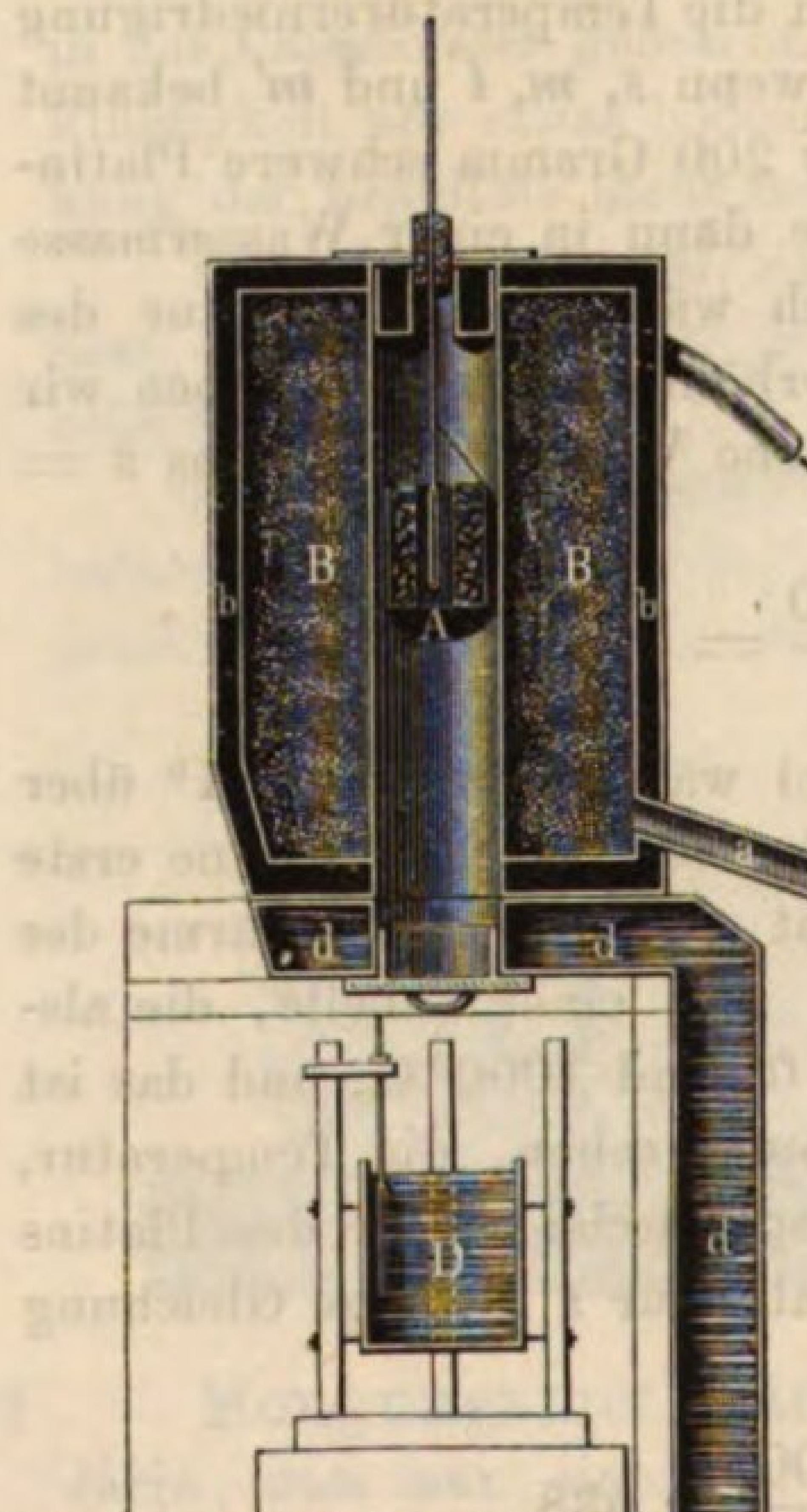
Die Temperatur der Platinkugel war demnach 938 + 20 = 958° C. Auf diese Weise kann die Kenntniss der specifischen Wärme zur Bestimmung hoher Temperaturen dienen. Pouillet fand nach dieser Methode die Temperatur des schmelzenden Eisens gleich 1500° bis 1600°.

Wenn diese Methode brauchbare Resultate geben soll, so muss die Wassermasse so gross sein, dass sie durch die Abkühlung des hineingebrachten Körpers nur um wenige Grade über die Temperatur der um-

gebenden Luftmasse erwärmt wird; dann aber muss man auch die Temperaturerhöhung des Gefässes in Rechnung bringen. Wäre z. B. das Gefäss von Kupferblech und n Gramm schwer, so ist klar, dass zu einer bestimmten Temperaturerhöhung dieses Gefässes eben so viel Wärme nöthig ist, als um die Temperatur einer $n . 0{,}095$ Gramm schweren Wassermasse um eben so viel Grade zu erhöhen, weil die specifische Wärme des Kupfers 0,095 von der des Wassers ist. Man kann allgemein sagen, die Temperaturerhöhung eines n Gramm schweren Gefässes erfordert eben so viel Wärme, wie eine gleiche Temperaturerhöhung einer $n . s$ Gramm schweren Wassermasse, wenn s die specifische Wärme der Gefässsubstanz bezeichnet.

Sehr genaue Versuche zur Bestimmung der specifischen Wärme hat Regnault angestellt, und zwar bediente er sich zu diesem Zweck der Mengungsmethode. Fig. 684 stellt den Regnault'schen Apparat zur Bestimmung der specifischen Wärme fester und tropfbar flüssiger Körper im Durchschnitt, Fig. 685, stellt ihn in perspectivischer Ansicht dar.

Fig. 684.



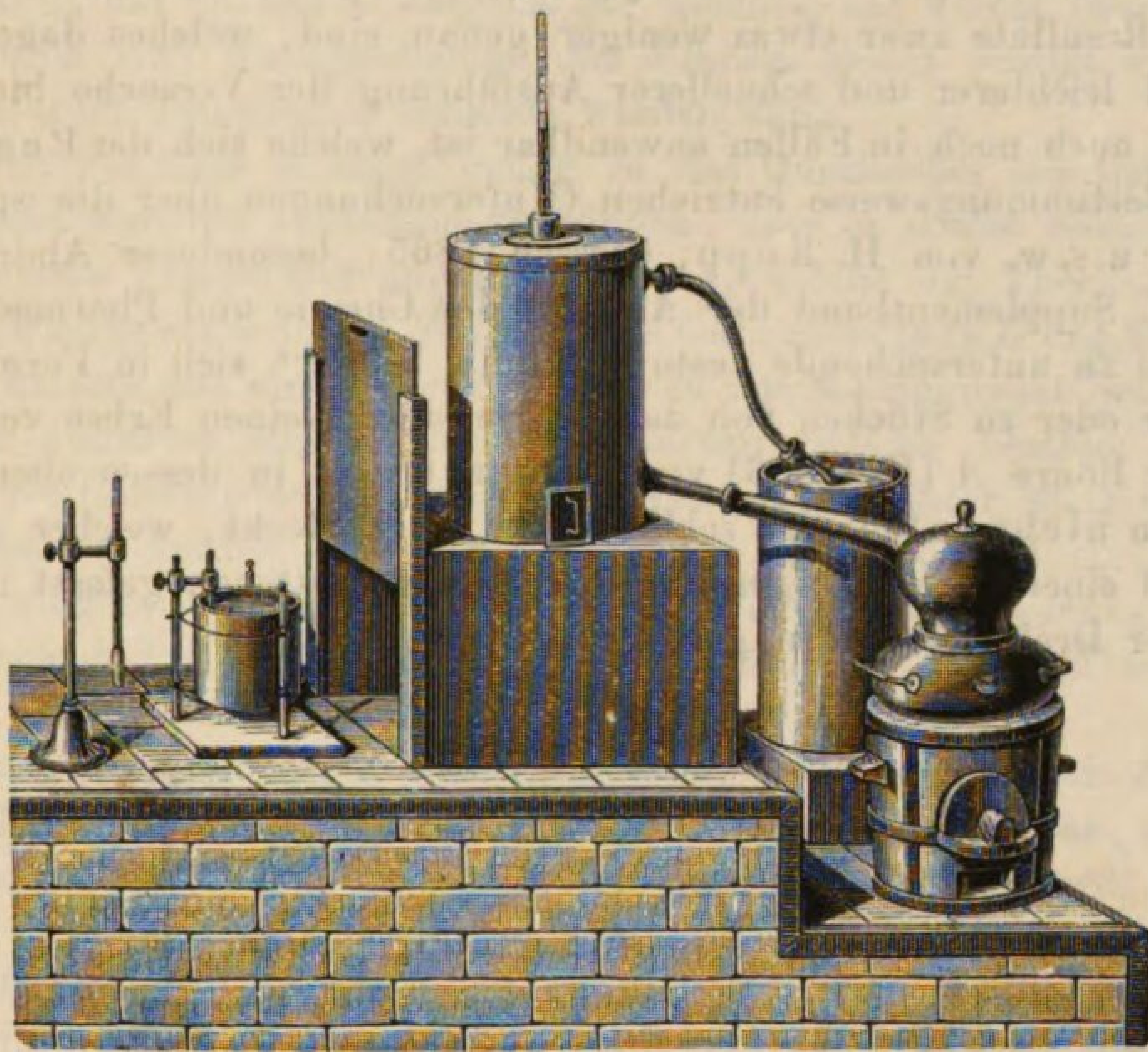
Den oberen Theil dieses Apparates bildet ein aus drei concentrischen Blechcylindern gebildetes Gefäss. Der mittlere Raum A ist unten durch eine leicht zu entfernende Blechkappe, oben mittelst eines Korkes verschlossen, in welchem ein Thermometer steckt. Ringsum ist der Raum A vom Dampfraum B und B wieder von dem Luftmantel b umgeben.

In der Mitte von A hängt an einem durch den oben schliessenden Kork festgehaltenen Faden ein ringförmiges möglichst leicht gearbeitetes Drahtkörbchen, in dessen innerer Höhlung sich das Gefäss des schon erwähnten Thermometers befindet, ohne jedoch damit fest verbunden zu sein. In dieses Körbchen wird nun die zu untersuchende Substanz gelegt und zwar als Stücke von entsprechender Grösse, wenn man mit festen, oder in möglichst dünnwandige Glasröhrchen eingeschlossenen, wenn man mit flüssigen Stoffen zu thun hat.

Aus einem kleinen Dampfkessel wird nun ein continuirlicher Dampfstrom in den Raum B geleitet, aus welchem dann die Dämpfe durch das Rohr c nach einem Kühlapparate abgeleitet werden. Unter diesen Um-

ständen wird nach einiger Zeit der ganze innere Raum A sammt dem Körbchen und seinem Inhalt eine dem Siedepunkte des Wassers nahe kommende constante Temperatur angenommen haben, welche man am Thermometer ablesen kann.

Fig. 685.



Ist dies geschehen, so wird der Deckel unter A entfernt und das Körbchen mit seinem Inhalt rasch in das aus sehr dünnem Eisenblech verfertigte, von seidenen Fäden getragene und mit Wasser gefüllte Gefäss D herabgelassen. Das Gefäss D wird nun nach der linken Seite unserer Figur hin hervorgezogen, das Wasser umgerührt und dann beobachtet, wie hoch die Temperatur des Kühlwassers steigt, welche natürlich auch vor dem Herablassen des Körbchens beobachtet worden sein muss.

Der Raum d ist mit kaltem Wasser gefüllt, um eine Erwärmung von D durch den auf der rechten Seite stehenden Dampfkessel und durch die Wärme des Dampfraumes B zu verhindern.

Die auf die angegebene Weise gemachten Beobachtungen liefern nun die Data, aus welchen sich die specifische Wärme der im Körbchen enthaltenen Stoffe berechnen lässt, wobei natürlich die specifische Wärme des Messings und des Glases in Rechnung zu bringen ist.

Für Körper, welche in Wasser löslich sind, wird D mit Terpentinöl gefüllt. (Pogg. Annal. Bd. LI, LIII und LXII.)

Neumann hat die specifische Wärme fester Körper im Wesentlichen nach derselben Methode bestimmt, wenn auch sein (zuerst in Poggendorff's Annal. CXX, 337 von Pape beschrieben) Apparat ganz anders construirt ist. Auch bei dem Neumann'schen Apparat wird der

zu untersuchende Körper in einem Raume erwärmt, welcher von einer mit den Dämpfen des siedenden Wassers erfüllten Hülle umgeben ist, und alsdann in kaltem Wasser abgekühlt.

Kopp hat die specifische Wärme fester und flüssiger Körper durch ein von dem Regnault'schen ganz verschiedenes Verfahren bestimmt, dessen Resultate zwar etwas weniger genau sind, welches dagegen den Vortheil leichterer und schnellerer Ausführung der Versuche bietet und welches auch noch in Fällen anwendbar ist, welche sich der Regnault'schen Bestimmungsweise entziehen (Untersuchungen über die specifische Wärme u. s. w. von H. Kopp, Giessen 1865; besonderer Abdruck aus dem III. Supplementband der Annalen der Chemie und Pharmacie).

Die zu untersuchende feste Substanz befindet sich in Form dünner Cylinder oder zu Stücken von der Grösse einer kleinen Erbse verkleinert in einer Röhre *A* (Fig. 686) von dünnem Glase, in dessen oberer Mündung ein nicht luftdicht schliessender Kork steckt, welcher zwischen zwei auf einem Draht aufgeschraubten Messingplättchen gefasst ist. Oben ist dieser Draht hakenförmig umgebogen.

Fig. 686.

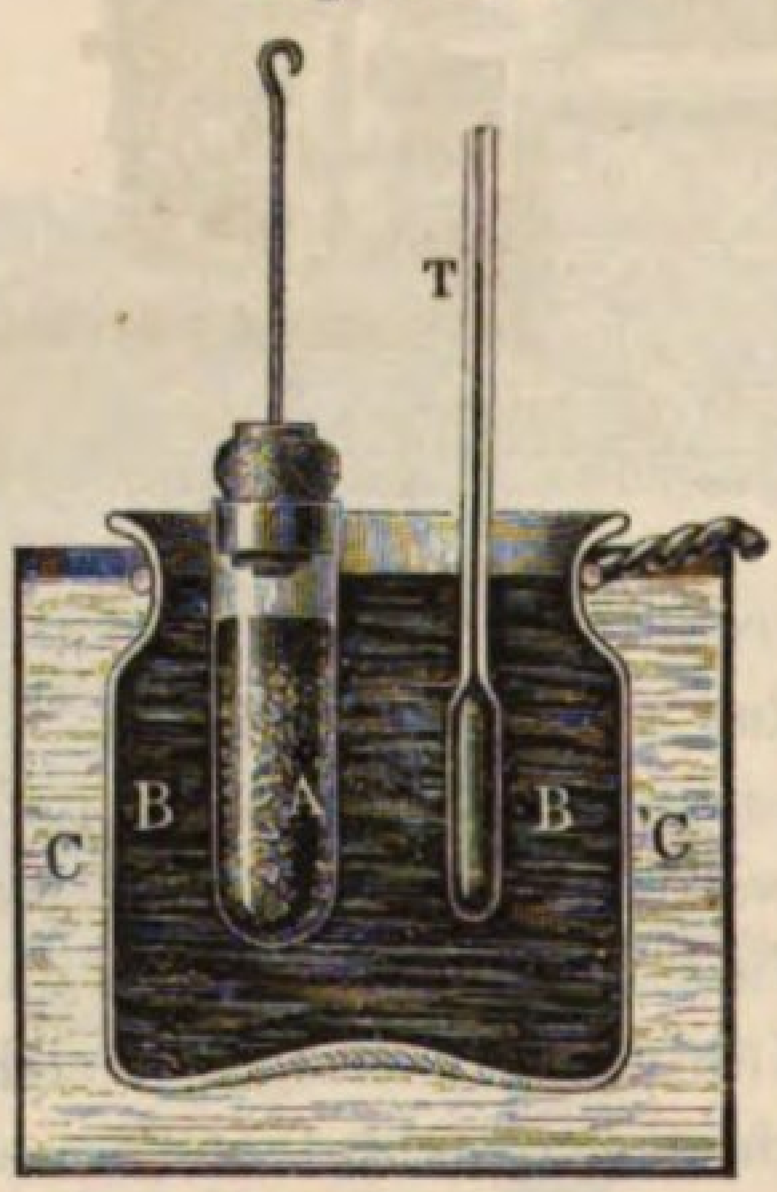


Fig. 687.



Das Röhrchen *A* enthält ausser den Stücken der zu untersuchenden festen Substanz noch eine dieselbe nicht lösende Flüssigkeit von bekannter specifischer Wärme, so dass sie die Körner zwar überragt, dass aber zwischen der Flüssigkeit und dem Kork doch noch ein Zwischenraum bleibt.

Das Glas *A* lässt sich, wenn der Kork aufgesteckt ist, mittelst des oben hakenförmig gebogenen Drahtes an eine Wage anhängen. Drei Wägungen: 1. des leeren Glases, 2. nach dem Einfüllen der festen Substanz, 3. nach dem Einfüllen der Flüssigkeit lehren das Gewicht der festen Substanz (m) und das der Flüssigkeit (f) kennen.

Um das Glas *A* sammt seinem Inhalt auf eine höhere Temperatur zu bringen, dient der Erhitzungsapparat (Fig. 686). Es wird, an einem

passenden Stativ eingeklemmt, nahe bis zu seinem oberen Rande in das Quecksilberbad B eingetaucht.

Das Quecksilbergefäss B, welches ausser der Röhre A auch noch das Thermometer T enthält, ist mittelst eines seinen Hals umschliessenden Triangels in das Oelbad C eingehängt, welches, auf einem Dreifuss stehend, durch eine Weingeistlampe mit dünnem Docht erhitzt wird und auf constanter Temperatur erhalten werden kann.

Wenn das Glas A lange genug in das Quecksilber des Gefässes B eingetaucht war, um annehmen zu können, dass es sammt seinem Inhalt die stationäre Temperatur angenommen hat, welche das Thermometer T anzeigt, wird es rasch in das Wasser des Calorimeters D Fig. 687 übertragen, welches aus einem von drei Füssen aus Messingdraht getragenen, aus dem dünnsten Messingbleche gebildeten Gefässe besteht. In das Wasser des Calorimeters D, welches durch einen Rührer stets in Bewegung erhalten werden kann, ist ausser der Röhre A noch ein Thermometer t eingetaucht, an welchem man die Temperaturerhöhung ablesen kann, welche das Wasser durch die Abkühlung der Röhre A und ihres Inhaltes erfährt.

Bezeichnet man mit T die Temperatur, bis zu welcher die Röhre A sammt ihrem Inhalt im Quecksilberbade erwärmt worden war, und mit T' diejenige, bis zu welcher sie im Calorimeter abgekühlt wird; bezeichnet man ferner mit s die specifische Wärme und mit m das Gewicht des in A enthaltenen festen Körpers, mit σ und μ die specifische Wärme und das Gewicht der in A enthaltenen Flüssigkeit, mit w endlich die Wassermasse, welche in Beziehung auf Wärmezunahme und Wärmeabgabe mit der Glasröhre A, so weit sie mit Wasser in Berührung kommt, gleichwerthig ist, so ist die Wärmemenge W, welche A sammt Inhalt während dieser Abkühlung abgiebt,

$$W = (s.m + w + \sigma.\mu)(T - T').$$

Die Wärmemenge W', welche das Calorimeter aufnimmt, ist aber

$$W' = M(t' - t),$$

wenn M das Gewicht des im Calorimeter enthaltenen Wassers, einschliesslich des Wasserwerthes des eingetauchten Theiles des Thermometers t und des Messinggefässes bezeichnet, und wenn ferner t die ursprüngliche Temperatur des Kühlwassers und t' die Temperatur desselben ist, bis zu welcher es bei dem Versuche erwärmt wird.

Früher nahm man vielfach an, dass T' und t' einander gleich seien; für die von ihm ausgeführten Versuche hat aber Kopp experimentell nachgewiesen, dass, wenn die durch das Thermometer t angezeigte Temperatur stationär geworden ist, die Temperatur des Inhaltes der Röhre A doch noch etwas höher ist als die des Kühlwassers, und zwar fand er im Durchschnitt, dass T' um 0,3° C. grösser ist als t'.

Setzt man die obigen Werthe von W und W' einander gleich, so ergiebt sich

$$s = \frac{M(t' - t) - (w + \sigma . \mu)(T - T')}{m . (T - T')} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad 1)$$

Diese Formel reducirt sich auf

$$s = \frac{M(t' - t) - w(T - T')}{m(T - T')} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 2)$$

wenn die Röhre A nur eine Flüssigkeit enthält, deren Gewicht m und deren specifische Wärme s ist.

Bei einem Versuch, welchen Kopp angestellt hatte, um die specifische Wärme des Quecksilbers zu bestimmen, fand er z. B.

$T = 51{,}1^0$ $t' = 16{,}5^0$ $M = 26{,}945$ Grm.
$T' = 16{,}8$ $t = 13{,}41$ $m = 53{,}015$ „
$w = 0{,}651$ Grm.,

woraus sich nach Gleichung 2) ergiebt

$$s = 0{,}0335.$$

Ein Versuch zur Bestimmung der specifischen Wärme des Phosphors, bei welchem die Flüssigkeit in der Röhre A Wasser war, gab folgende Resultate:

$T = 38{,}8^0$ $t' = 13{,}2$ $M = 26{,}95$ Grm. $\mu = 2{,}065$ Grm.
$T' = 13{,}5$ $t = 10{,}05$ $m = 3{,}075$ $\sigma = 1{,}000$

aus welchen sich nach Gleichung 1) ergiebt:

$$s = 0{,}208.$$

Nach dieser Methode hat Kopp die specifische Wärme einer grossen Anzahl chemisch einfacher und zusammengesetzter Substanzen bestimmt, von welchen sehr viele bis dahin noch nicht untersucht worden waren.

253 **Veränderlichkeit der specifischen Wärme.** Die specifische Wärme eines und desselben Körpers kann sich merklich ändern, wenn seine Dichtigkeit eine Veränderung erleidet; so wird z. B. die specifische Wärme des Kupfers merklich kleiner, wenn durch Harthämmern seine Dichtigkeit zunimmt; die specifische Wärme des reinen schmiedbaren Kupfers ist nach Regnault 0,095, die des kalt gehämmerten Kupfers 0,093.

Die specifische Wärme des Kohlenstoffs ändert sich nach Regnault bedeutend mit dem Dichtigkeitszustande. Regnault fand für

Holzkohle . . .	0,241,
Gaskohle . . .	0,204,
Hohofengraphit .	0,197,
Diamant	0,147;

die specifische Wärme ist also um so geringer, je grösser die Dichtigkeit ist.

Kopp erhielt für die von ihm untersuchten Kohlenstoffmodificationen stets kleinere Zahlen als Regnault, nämlich für

Gaskohle . . . 0,185,
Hohofengraphit . 0,166;

er schreibt die höheren Werthe Regnault's vorzugsweise dem Umstande zu, dass beim Eintauchen erhitzter poröser Körper in das Wasser des Calorimeters durch das Benetzen Wärme frei wird.

Dass die specifische Wärme der Körper für höhere Temperaturen zunimmt, ersieht man aus folgenden von Dulong und Petit gefundenen Werthen:

	Mittlere Capacität zwischen 0^0 u. 100^0	zwischen 0^0 u. 300^0
Eisen	0,1098	0,1218
Quecksilber . .	0,0330	0,0350
Zink	0,0927	0,1015
Antimon . . .	0,0507	0,0549
Silber	0,0557	0,0611
Kupfer . . .	0,0949	0,1013
Platin	0,0335	0,0355
Glas	0,177	0,190

Nach Pouillet's Versuchen ist die mittlere specifische Wärme des Platins zwischen

0^0 und 100^0 . .	0,03350	0^0 und 700 . .	0,03602
0 „ 300 . .	0,03434	0 „ 1000 . .	0,03728
0 „ 500 . .	0,03518	0 „ 1200 . .	0,03818.

Auch die specifische Wärme des Wassers ändert sich mit der Temperatur. Die folgende kleine Tabelle enthält die Resultate von Versuchen, bei welchen das Wasser unter Dampfdruck bis zu 200^0 C. erwärmt wurde. In dieser Tabelle bezeichnet S die mittlere specifische Wärme von 0^0 bis t^0, s aber die specifische Wärme bei t^0, d. h. die Wärmemenge, welche nöthig ist, um 1 Gramm Wasser von t^0 auf $(t + 1)^0$ zu erwärmen.

t	S	s	t	S	s
0^0	1,0000	1,0000	100^0	1,0050	1,0130
20	1,0005	1,0012	120	1,0067	1,0177
40	1,0013	1,0030	140	1,0087	1,0232
60	1,0023	1,0056	160	1,0109	1,0294
80	1,0035	1,0089	180	1,0133	1,0364

Die specifische Wärme desselben Stoffes ändert sich bedeutend, wenn derselbe aus dem festen in den flüssigen Zustand übergeht und zwar ist sie für den flüssigen Zustand grösser als für den festen. So

ist z. B. die specifische Wärme des **Eises** zwischen — 20⁰ und 0⁰ nur gleich 0,502.

Die folgende Tabelle enthält einige weitere Data, welche die eben ausgesprochene Behauptung bestätigen.

Substanz.	Starr		Tropfbarflüssig	
	Temperaturintervall.	Specif. Wärme.	Temperaturintervall.	Specif. Wärme.
Blei	0^0 bis 100^0 C.	0,0314	350^0 bis 450^0 C.	0,0402
Brom	—78 „ —20	0,08432	10 „ 48	0,1109
Jod	0 „ 100	0,05412	—	0,10822
Quecksilber	—78 „ —40	0,0319	0 „ 100	0,0333
Schwefel	0 „ 100	0,2026	120 „ 150	0,234
Wismuth	0 „ 100	0,03084	280 „ 380	0,0363
Zinn	0 „ 100	0,0562	250 „ 350	0,0637
Phosphor	10 „ 30	0,1887	50 „ 100	0,2120
Eis oder Wasser . . .	unter 0	0,502	0 „ 20	1,0000
Krystall. Chlorcalcium	unter 0	0,345	33 „ 80	0,555
Salpetersaures Natron	0 bis 100	0,27821	330 „ 430	0,413
Salpetersaures Kali . .	0 „ 100	0,23875	350 „ 435	0,3319

254 **Relation zwischen specifischer Wärme und Atomgewicht.** Die Bestimmung der specifischen Wärme erhielt durch die Arbeiten von **Dulong** und **Petit** (Annal. de chim. et de phys. X. 1819) eine grosse Wichtigkeit für die Chemie, indem sie fanden, dass das Product, welches man erhält, wenn man die specifische Wärme eines festen Elementes mit seinem Atomgewichte multiplicirt, stets denselben Werth habe. So fanden sie z. B. die specifische Wärme des Eisens gleich 0,1100; das Atomgewicht dieses Metalls ist aber 56 und das Product dieser beiden Grössen ist gleich 6,16. Multiplicirt man die specifische Wärme des Kupfers 0,0949 mit seinem Atomgewichte 63,4, so erhält man das Product 6,04, einen Werth, welcher mit dem für das Eisen gefundenen fast vollkommen übereinstimmt. Ebenso fand sich, dass dieses Product für alle metallischen Elemente fast genau denselben Werth habe, es schien also das Gesetz begründet zu sein, dass **die specifische Wärme der metallischen Elemente ihrem Atomgewichte umgekehrt proportional sei.**

Dadurch war nun ein Mittel mehr gegeben, das Atomgewicht eines Körpers kennen zu lernen und die Werthe der auf anderem Wege gefundenen Atomgewichte zu controliren. Die Atomgewichte der Elemente waren zu der Zeit, wo **Dulong** und **Petit** diese Arbeiten ausführten,

noch nicht so fest bestimmt, als jetzt; oft hatte man für denselben Körper unter mehreren Atomgewichten zu wählen, und Dulong und Petit wählten natürlich das mit ihrem Gesetze am besten harmonirende.

Das Dulong-Petit'sche Gesetz lässt sich auch noch in anderer Form ausdrücken als es oben geschah. Das Product 6,16 ist offenbar gleich der Wärmemenge, welche erforderlich ist, die Temperatur von 56 Gramm Eisen um 1° C. zu erhöhen. Nahezu dieselbe Wärmemenge ist aber erforderlich, um die gleiche Temperaturerhöhung in 65,2 Grm. Zink, in 207 Gramm Blei u. s. w. hervorzubringen, welche Massen mit 56 Gramm Eisen chemisch äquivalent sind. Man kann also auch sagen: Chemisch äquivalente Mengen fester Elemente bedürfen zu gleicher Temperaturerhöhung gleich grosser Wärmemengen, oder auch: Chemisch äquivalente Gewichtsmengen fester Elemente sind auch thermisch äquivalent.

Endlich aber lässt sich das Dulong-Petit'sche Gesetz auch so ausdrücken: Die Atome aller einfachen Körper haben gleiche Wärmecapacität, oder auch: Die Atomwärme aller einfachen Stoffe ist gleich, wenn man als Atomwärme das Product des Atomgewichts in die specifische Wärme bezeichnet.

Inwiefern das Dulong-Petit'sche Gesetz von der Erfahrung bestätigt wird, kann man aus der folgenden Tabelle ersehen, in welcher das Atomgewicht (in dem auf S. 29 des ersten Bandes besprochenen Sinne), die specifische Wärme und die Atomwärme der wichtigsten in fester Form bekannten Elemente zusammengestellt sind.

	Atomgewicht.	Specifische Wärme.	Atomwärme.
Silber, Ag	108	0,0570	6,16
Aluminium, Al . .	27,4	0,2143	5,87
Wismuth, Bi . . .	210	0,0308	6,47
Kobalt, Co	58,8	0,1067	6,27
Kupfer, Cu	63,4	0,0949	6,02
Eisen, Fe	56	0,1138	6,37
Jod, J	127	0,0541	6,87
Lithium, Li . . .	7	0,9408	6,59
Mangan, Mn . . .	55	0,1217	6,69
Natrium, Na . . .	23	0,2934	6,75
Blei, Pb	207	0,0314	6,50
Platin, Pt	197,4	0,0325	6,42
Schwefel, S . . .	32	0,1776	5,68
Zinn, Sn	118	0,0548	6,46
Zink, Zn	65,2	0,0956	6,23

Für die hier vorkommenden Differenzen der Atomwärme sucht Regnault die Ursache darin, dass man die Atomwärme der Elemente nicht immer in vergleichbaren Zuständen in Beziehung auf Temperatur und Dichtigkeit untersuchen könne.

Während nun die meisten starren Elemente wenigstens sehr nahe dem fraglichen Gesetze genügen, ist dies für einige andere, Bor, Kohlenstoff und Silicium, nicht der Fall, wenn man die allgemein von den Chemikern angenommenen Atomgewichte zu Grunde legt, wie man aus der folgenden kleinen Tabelle ersieht.

	Atom-gewicht.	Zustand.	Specifische Wärme.	Atom-wärme.
Bor, B	10,9	amorph	0,254	2,77
		krystallisirt	0,230	2,51
Kohlenstoff, Ͼ . .	12	Holzkohle	0,241	2,89
		Graphit	0,174	2,09
		Diamant	0,147	1,76
Silicium, Si . . .	28	krystallisirt	0,165	4,62
		graphitartig	0,181	5,07
		geschmolzen	0,138	3,86

Diese Elemente bilden also eine Ausnahme, wenn man nicht, wie es Regnault thut, die Atomgewichte entsprechend corrigirt. Er nimmt z. B. das Atomgewicht des Kohlenstoffs gleich 24, so dass die Formel für Kohlenoxydgas $Ͼ\Theta_2$, die für Kohlensäure $Ͼ\Theta_4$ geschrieben werden müsste, was vom chemischen Standpunkte aus nicht zulässig erscheint. Das Atomgewicht des Siliciums nimmt Regnault gleich 35, so dass nach ihm die Formel für Kieselsäure $Si_2\,\Theta_5$ sein müsste.

255 **Specifische Wärme zusammengesetzter Körper.** Die specifische Wärme zusammengesetzter Körper ist zuerst von Avogadro und Neumann genauer untersucht worden. Letzterer stellte zuerst den Satz auf, welcher nach ihm das Neumann'sche Gesetz genannt wird, dass bei allen zusammengesetzten Körpern von gleicher atomistischer und ähnlicher chemischer Zusammensetzung die specifische Wärme im umgekehrten Verhältnisse der Atomgewichte stehe.

Regnault gelangte durch spätere sehr umfangreiche Versuche zu dem gleichen Resultate, dessen Bestätigung man aus der folgenden Tabelle ersieht, welche ein Auszug aus der von Kopp in der bereits citirten Schrift gegebenen Zusammenstellung der Substanzen ist, für welche die specifische Wärme experimentell bestimmt ist. Wir begnügen uns, in diesem Auszuge für jeden Stoff jeweils nur eine Angabe aufzuführen, während in der Kopp'schen Tabelle für denselben Stoff die Resultate verschiedener Beobachter zusammengestellt sind.

Namen des Stoffes.	Formel.	Atom-gewicht.	Specif. Wärme.	Atom-wärme.
	Schwefelmetalle.			
Schwefelsilber	Ag_2S	248	0,0746	18,5
Kupferglanz	Cu_2S	158,8	0,120	19,1
Zinnober	HgS	232	0,0517	12,0
Bleiglanz	PbS	239	0,0490	11,7
Zinkblende	ZnS	97,2	0,120	11,7
	Chlor- und Jodverbindungen.			
	$HgCl$	235,5	0,0521	12,3
Chlorkalium	KCl	74,6	0,1730	12,9
Steinsalz	$NaCl$	58,5	0,219	12,8
	$HgCl_2$	271	0,0689	18,7
	$PbCl_2$	278	0,0664	18,5
	$ZnCl_2$	136,2	0,1362	18,6
	HgJ	137	0,0395	12,9
Jodkalium	KJ	166,1	0,0819	13,6
Jodnatrium	NaJ	150	0,0868	13,0
	Oxyde.			
Rothkupfererz	Cu_2O	142,8	0,111	15,9
Eis	H_2O	18	0,502	9
	CuO	79,4	0,137	10,9
	HgO	216	0,0518	11,2
	PbO	223	0,0512	11,4
	ZnO	81,2	0,132	10,7
Saphir	Al_2O_3	102,8	0,2173	22,3
Eisenglanz	Fe_2O_3	160	0,154	25,1
Pyrolusit	MnO_2	87	0,159	13,8
Quarz	SiO_2	60	0,1913	11,5
Zinnstein	SnO_2	150	0,0933	14,0

Namen des Stoffes.	Formel.	Atom-gewicht.	Specif. Wärme	Atom-wärme.
		Kohlensaure Salze.		
Kohlensaures Kali	K_2CO_3	138,2	0,206	28,5
Kohlensaures Natron . .	Na_2CO_3	106	0,2728	28,9
Kalkspath	$CaCO_3$	100	0,206	20,6
Arragonit			0,203	20,3
Eisenspath	$FeCO_3$	116	0,182	21,1
Strontianit	$SrCO_3$	108	0,1445	21,3
		Schwefelsaure Salze.		
Schwerspath	$BaSO_4$	233	0,108	25,2
Anhydrit	$CaSO_4$	136	0,1854	25,2
Bleivitriol	$PbSO_4$	303	0,0827	25,1
Cölestin	$SrSO_4$	183,6	0,135	24,8
Gyps	$CaSO_4 + 2HO$	172	0,259	44,6
	$CuSO_4 + 5H_2O$	249,4	0,316	78,8
	$MnSO_4 + 5H_2O$	241	0,323	77,8
	$CoSO_4 + 7H_2O$	280,8	0,313	96,4
	$FeSO_4 + 7H_2O$	278	0,346	96,2
	$ZnSO_4 + 7H_2O$	287,2	0,347	99,7

In Betreff der specifischen Wärme zusammengesetzter Körper hat Wöstyn (Annal. de chimie et de physique 3. Sér. T. XXIII) die wichtige Bemerkung gemacht, dass die Elemente ihre specifische Wärme nicht ändern, wenn sie eine Verbindung mit anderen eingehen, oder mit anderen Worten: Das Product, welches man erhält, wenn man das Atomgewicht des zusammengesetzten Körpers mit seiner specifischen Wärme multiplicirt, ist gleich der Summe der entsprechenden Producte für die einzelnen Elemente. Bezeichnen wir mit P das Atomgewicht und mit S die specifische Wärme des zusammengesetzten Körpers, mit p, p_1, p_2 u. s. w. die Atomgewichte, mit s, s_1, s_2 u. s. w. die specifische Wärme der einzelnen Elemente und mit n, n_1, n_2 u. s. w. die relative Anzahl der Atome, mit welchen sie in die Verbindung eintreten, so ist

$$P.S = nps + n_1 p_1 s_1 + n_2 p_2 s_2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

eine Formel, welche mit den Beobachtungsresultaten ziemlich gut über-

einstimmt. So ergiebt sich z. B. für Schwefelzink (ZnS) sowohl n als auch n_1 gleich 1; das Product ps ist für Zink (Tabelle a. S. 791) gleich 6,23, das Product $p_1 s_1$ ist für Schwefel 5,68, also für Schwefelzink

$$P . S = 6{,}23 + 5{,}68 = 11{,}91$$

während nach den Versuchen der Werth von PS in diesem Fall sich gleich 11,7 ergiebt.

Für Kupferglanz Cu_2S ergiebt die Wöstyn'sche Formel

$$P . S = 2 . 6{,}02 + 5{,}68 = 17{,}72$$

während nach den Regnault'schen Versuchen der Werth von PS für Schwefelkupfer 19,1 ist.

Garnier hat den Satz aufgestellt, dass man die specifische Wärme S eines zusammengesetzten Körpers finde, wenn man die Atomwärme a der starren Elemente (welche im Mittel gleich 6,4 ist) durch das mittlere Atomgewicht des fraglichen Körpers dividirt. Unter dem mittleren Atomegwichte aber versteht Garnier den Quotienten, welchen man erhält, wenn man das Atomgewicht P des zusammengesetzten Stoffes durch die Zahl N der Einzelatome dividirt, welche sich zu einem zusammengesetzten Atome verbunden haben. Es ist also

$$S = a : \frac{P}{N} = \frac{Na}{P} \quad \dots\dots\dots \quad 2)$$

Für ($HgCl_2$) ist z. B. $N = 3$, $P = 271$,

also $$S = \frac{3 . 6{,}4}{271} = \frac{19{,}2}{271} = 0{,}070,$$

während der Versuch (Tabelle auf S. 793) $S = 0{,}0689$ giebt. Aus Gleichung 2) folgt aber

$$\frac{PS}{N} = a \quad \dots\dots\dots \quad 3)$$

d. h. wenn man die Atomwärme PS eines chemisch zusammengesetzten Stoffes durch die Anzahl N der elementaren Atome dividirt, aus denen sein Atom zusammengesetzt ist, so ist der Quotient gleich der Atomwärme der starren Elemente.

Für Kupferglanz, Cu_2S, ist z. B. der Werth $P . S = 19{,}1$ und $N = 3$, also

$$\frac{19{,}1}{3} = 6{,}37.$$

Für Steinsalz ist die Atomwärme gleich 12,8 und $N = 2$, also wird jener Quotient

$$\frac{12{,}8}{2} = 6{,}4.$$

Die Gleichung 3) ergiebt sich übrigens als eine Consequenz des Wöstyn'schen Gesetzes, denn setzen wir $ps = p_1 s_1 = p_2 s_2$ u. s. w. $= a$, so geht Gleichung 1) über in

$$PS = (n + n_1 + n_2 + \text{etc.})\, a = N.a \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 4)$$

da ja $n + n_1 + n_2 + \text{etc.} = N$ ist. Die Gleichung 4) ist aber mit Gleichung 3) identisch.

Auch für Wasser stimmt der nach Gleichung 3) berechnete Werth von a sehr nahe mit der mittleren Atomwärme der starren Elemente überein. Setzen wir nämlich $P = 18$, $S = 1$ und $N = 3$, so kommt

$$\frac{18\,.\,1}{3} = 6{,}0,$$

und Garnier sieht darin eine Bestätigung für die Annahme, dass im Wasser zwei Atome Wasserstoff mit einem Atom Sauerstoff verbunden sind, dass also das Atomgewicht des Wasserstoffs wirklich halb so gross zu nehmen sei als sein Aequivalent (vergl. §. 17 Bd. I.). Die Bedeutung dieses Schlusses wird aber dadurch beeinträchtigt, dass der aus Gleichung 3) abgeleitete Werth von a zwar für flüssiges Wasser, aber nicht für Eis ($S = 0{,}502$, $a = 3{,}01$), dem Mittelwerth der Atomwärme fester Elemente nahezu gleich ist.

Für viele Verbindungen weicht übrigens der Quotient $\frac{PS}{N}$ bedeutend von 6,4 ab, so z. B., wie wir schon gesehen haben, für Eis. Für die Oxyde mit 1 Atom Sauerstoff ist PS im Durchschnitt gleich 11,1 und der fragliche Quotient nur $\frac{11{,}1}{2} = 5{,}55$. Für die Oxyde, welche 2 Atome Sauerstoff auf 1 Atom Metall enthalten, ist dieser Quotient nur 4,6 u. s. w.

Im Allgemeinen wird der nach Gleichung 3) berechnete Werth von a der Zahl 6,4 um so näher kommen, je näher die Atomwärme der in die Verbindung eintretenden Elemente diesem Werthe steht.

Das Wöstyn'sche Gesetz macht es auch möglich die Atomwärme zu berechnen, mit welcher ein Bestandtheil in eine Verbindung eintritt, wenn die Atomwärme der Verbindung und die der übrigen Bestandtheile bekannt sind. Bezeichnen wir mit A die Atomwärme der Verbindung, mit a, a_1 u. s. w. die Atomwärmen der Bestandtheile, so ist

$$A = na + n_1 a_1 + \text{etc.},$$

also auch

$$a = \frac{A - n_1 a_1 - \text{etc.}}{n}.$$

So ist z. B. die Atomwärme des Gypses ($CaSO_4 + 2H_2O$) — $A = 44{,}6$; die Atomwärme von $CaSO_4$ ist $a_1 = 25{,}2$, es ergiebt sich also für die Atomwärme des Wassers, welches im Gyps enthalten ist,

$$a = \frac{44{,}6 - 25{,}2}{2} = 9{,}7,$$

ein Werth, welcher sehr nahe mit demjenigen übereinstimmt, welchen man für die Atomwärme des Eises gefunden hat. Dasselbe Resultat ergiebt sich auch aus anderen wasserhaltigen Verbindungen.

In gleicher Weise lässt sich auch die Atomwärme des in festen Verbindungen enthaltenen Sauerstoffs ermitteln. Man hat nur die Atomwärme des Metalls von der Atomwärme des Oxyds abzuziehen. So ergiebt sich für die Atomwärme des Sauerstoffs aus

$$Cu\Theta \quad 10{,}9 - 6{,}02 = 4{,}88$$

$$Pb\Theta \quad 11{,}4 - 6{,}5 = 4{,}90$$

$$Zn\Theta \quad 10{,}7 - 6{,}23 = 4{,}47$$

$$Mn\Theta_2 \quad \frac{13{,}8 - 3{,}5}{2} = 3{,}55$$

$$Si\Theta_2 \quad \frac{11{,}5 - 4{,}5}{2} = 3{,}50$$

$$Sn\Theta_2 \quad \frac{14 - 6{,}46}{2} = 3{,}67.$$

Im Mittel ist also die Atomwärme des Sauerstoffs in starren Verbindungen ungefähr gleich 4, also merklich kleiner als 6,4.

Für Chlor ergiebt sich aus

$$NaCl \quad 12{,}8 - 6{,}8 = 6{,}0$$

$$PbCl_2 \quad \frac{18{,}5 - 6{,}5}{2} = 6{,}0$$

$$ZnCl_2 \quad \frac{18{,}6 - 6{,}2}{2} = 6{,}2.$$

Für Wasserstoff ergiebt sich aus Eis

$$H_2O \text{ nahezu } \frac{9 - 4}{2} = 2{,}5,$$

eine Zahl, welche bedeutend von der mittleren Atomwärme starrer Elemente abweicht.

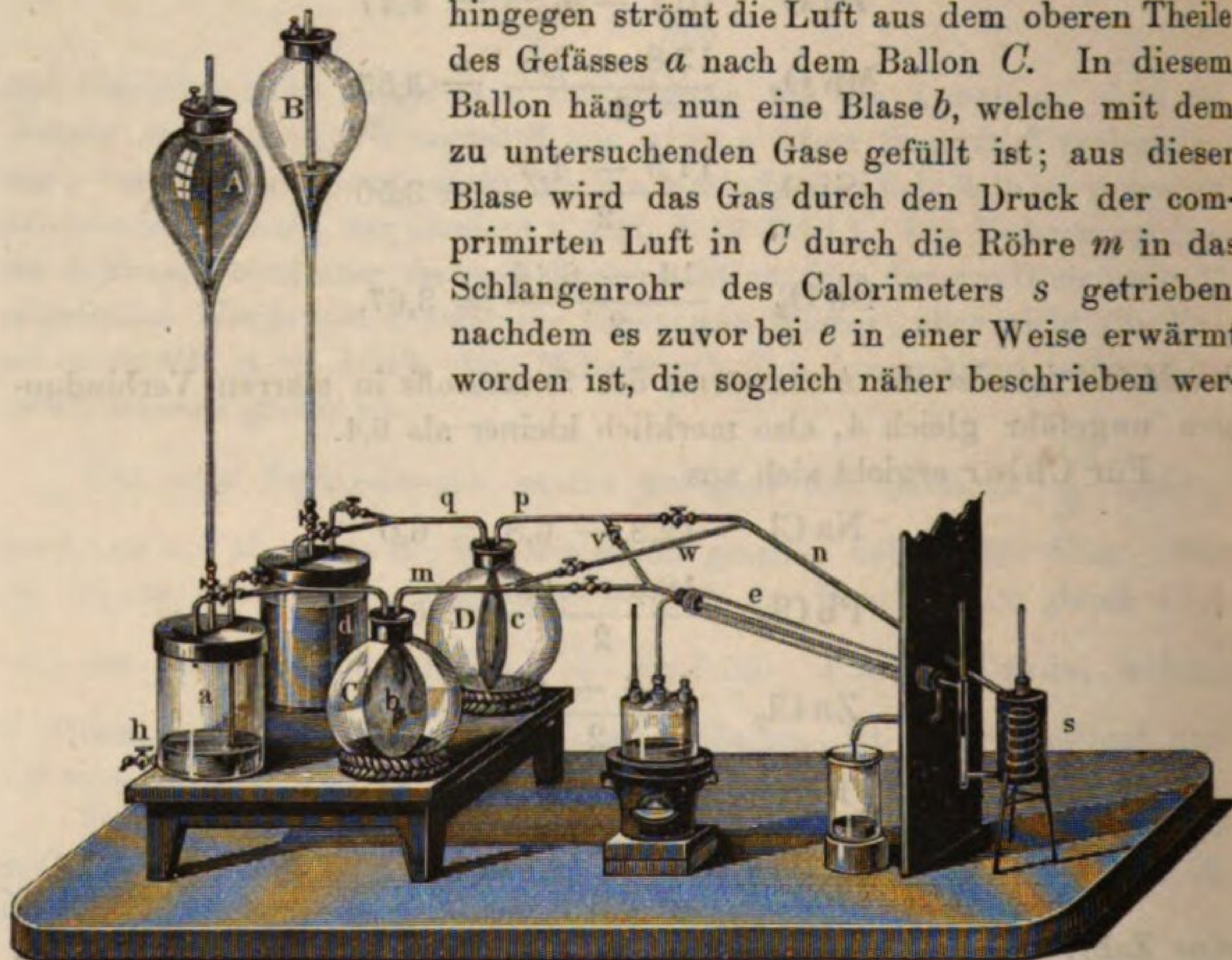
Specifische Wärme der Gase. De la Roche und Berard haben über diesen Gegenstand eine Untersuchung ausgeführt, welche von der Akademie der Wissenschaften zu Paris im Jahre 1812 gekrönt wurde. Der Apparat, welchen sie zu ihren Versuchen anwandten, hatte folgende Einrichtung: 256

Durch den luftdicht schliessenden Deckel eines mit Luft gefüllten Gefässes *a*, Fig. 688 a. f. S., geht eine Röhre vertical in die Höhe und endigt oben in ein mit Wasser gefülltes Gefäss *A*. Das untere Ende dieser Röhre ist nach oben gekrümmt, und durch die Oeffnung kann das Wasser aus dem Gefässe *A* in das Gefäss *a* herabfliessen. Das Gefäss *A* ist gleichfalls durch einen Deckel oben luftdicht verschlossen; durch diesen Deckel geht nun eine an beiden Enden offene Röhre in das Wasser des Gefässes *A* hinab, und in dem Maasse, als unten Wasser ausfliesst, dringen durch das untere Ende *t* dieser Röhre Luftblasen in das Gefäss *A*

ein; dadurch wird nun die Luft aus dem Gefässe *a* mit einer constanten Geschwindigkeit, wie sie einer Wassersäule von *t* bis zur unteren Oeffnung zukommt, ausgetrieben.

Aus dem Gefässe *a* gehen nun zwei Röhren, die sich zu einer verbinden, nach dem Ballon *C*; die eine dieser Röhren geht fast bis auf den Boden des Gefässes *a* herab, und diese ist jetzt durch einen Hahn abgesperrt; durch die andere hingegen strömt die Luft aus dem oberen Theile des Gefässes *a* nach dem Ballon *C*. In diesem Ballon hängt nun eine Blase *b*, welche mit dem zu untersuchenden Gase gefüllt ist; aus dieser Blase wird das Gas durch den Druck der comprimirten Luft in *C* durch die Röhre *m* in das Schlangenrohr des Calorimeters *s* getrieben, nachdem es zuvor bei *e* in einer Weise erwärmt worden ist, die sogleich näher beschrieben wer-

Fig. 688.



den soll. Nachdem das Gas durch das Schlangenrohr des Calorimeters hindurchgegangen ist, wird es durch die Röhren *n* und *p* in die leere Blase *c* geleitet, die sich in dem Ballon *D* befindet. Kurz, durch den Druck der Wassersäule wird das Gas aus der Blase *b* auf einigen Umwegen in die Blase *c* hineingepresst. Damit sich aber die Blase *c* allmälig mit Gas füllen und ausdehnen könne, muss die Luft aus dem Ballon *D* austreten können. In der That führt von *D* eine Röhre *q*, welche sich alsbald in zwei Arme theilt, nach dem mit Wasser gefüllten Gefässe *d*. Der eine dieser Arme führt zu dem oberen Theile des Gefässes *d*, und dieser Arm ist für jetzt durch einen Hahn verschlossen, der andere Arm aber geht fast bis auf den Boden des Gefässes *d*. Durch diesen Arm gelangt die aus *D* herausgepresste Luft in das Gefäss *d*. In dem Maasse aber, als die Luft aus *D* nach *d* übergeht, fliesst das Wasser aus dem Gefässe *d* durch einen Hahn ab, welcher dem Hahn *h* am Gefässe *a* entspricht.

Wenn auf diese Weise die Blase *b* entleert und *c* mit Gas gefüllt ist, so ist auch *a* mit Wasser und *d* mit Luft gefüllt; es werden alsdann alle Hähne geschlossen, die bis jetzt geöffnet waren, alle bis jetzt geschlossenen aber geöffnet; alsdann wird durch das aus *B* herabkommende Wasser die Luft in *d* und *D* comprimirt, das Gas wird aus der Blase *c* durch die Röhren *p* und *v* nach der Erhitzungsstelle *e* und von da nach dem Calorimeter getrieben, aus dem Schlangenrohre des Calorimeters aber gelangt das Gas durch die Röhren *n*, *w* und *m* in die Blase *b*; die Luft aus *C* wird nach *a* hinübergepresst, und das Wasser aus *a* fliesst durch den Hahn *h* ab. Wenn die Blase *b* wieder mit Gas gefüllt ist, werden die Hähne abermals verstellt u. s. w. Auf diese Weise kann man eine und dieselbe Gasmenge zu wiederholten Malen mit constantem Drucke durch das Calorimeter hindurchtreiben.

Bei *e* ist das Rohr, durch welches das Gas hindurchstreicht, von einem weiteren Rohre umgeben, welches stets mit den Dämpfen von kochendem Wasser gefüllt ist. Ein Thermometer zeigt die Temperatur an, mit welcher das Gas in das Calorimeter eintritt, ein anderes Thermometer zeigt seine Temperatur beim Austritte aus demselben.

Selbst wenn kein Gas durch den Apparat hindurchströmt, wenn aber doch die Röhre bei *e* durch die Wasserdämpfe erwärmt ist, wird dem Calorimeter eben durch dieses Rohr schon Wärme zugeführt; die Temperaturerhöhung, welche auf diese Weise das Calorimeter erleidet, muss durch vorläufige Versuche ausgemittelt werden, damit man sie gehörig in Rechnung bringen kann.

Um zufällige Temperaturveränderungen von dem Calorimeter abzuhalten, war es durch einen Schirm von dem übrigen Apparate getrennt; ein empfindliches Thermometer zeigte in jedem Augenblicke die Temperatur des Wassers im Calorimeter an.

Wenn das warme Gas fortwährend durch das Calorimeter hindurchstreicht, so wird dieses allmälig erwärmt und nimmt endlich eine constante Temperatur an, wenn es in jedem Augenblicke so viel Wärme empfängt, als es an die Umgebung verliert.

Bei einem Drucke von 76 Centimetern und unter übrigens gleichen Umständen betrug der Ueberschuss der stationären Temperatur des Calorimeters über die Temperatur der Umgebung:

für atmosphärische Luft	15,734°	für Stickstoffoxydgas	21,246°
„ Wasserstoffgas . .	14,214	„ ölbildendes Gas .	24,435
„ Kohlensäure . . .	19,800	„ Kohlenoxyd . .	16,270
„ Sauerstoffgas . . .	15,365		

Da nun in gleichen Zeiten gleiche Gasvolume durch den Apparat hindurchstreichen, so müssen offenbar die Werthe der specifischen Wärme der verschiedenen Gasarten für gleiche Volume den eben angegebenen Temperaturüberschüssen proportional sein; bezeichnet man demnach die

specifische Wärme der atmosphärischen Luft mit 1, so ergeben sich für gleiche Volume der anderen Gase aus den eben angeführten Zahlen folgende Werthe:

Wasserstoffgas	0,9033
Kohlensäuregas	1,2583
Sauerstoffgas	0,9765
Stickstoffoxydgas	1,3503
Oelbildendes Gas	1,5530
Kohlenoxydgas	1,0340

Diese Zahlen geben die specifische Wärme gleicher Gasvolume bei gleichem Drucke; um die specifische Wärme gleicher Gewichtsmengen zu finden, hat man obige Zahlen nur durch das specifische Gewicht der Gase zu dividiren.

Das Verhältniss der specifischen Wärme der Gase zur specifischen Wärme des Wassers ergiebt sich aus den Versuchen von de la Roche und Berard auf folgende Weise.

Bezeichnen wir mit s die constante Temperatur des Calorimeters, also auch die Temperatur, mit welcher das Gas aus dem Calorimeter austritt, mit t seine Temperatur beim Eintritt, so ist $t - s$ die Temperaturerniedrigung, welche das Gas beim Durchstreichen durch das Calorimeter erleidet. Wenn nun ferner m' die Masse des Gases, welches in einer Minute durchstreicht, und c die specifische Wärme desselben ist, so ist offenbar die in einer Minute von dem Gase an das Calorimeter abgegebene Wärmemenge gleich $m' c\ (t - s)$.

Bezeichnen wir ferner mit m die corrigirte Masse des Calorimeters, d. h. das Gewicht des Wassers, welches darin enthalten und dessen specifische Wärme gleich 1 ist, sammt dem Gewichte des Gefässes und des Thermometers, multiplicirt mit der specifischen Wärme der Substanzen, aus denen sie verfertigt sind; mit r die corrigirte Temperatur des Calorimeters, d. h. die Temperatur, bis zu welcher es steigen würde, wenn kein Gas durch die Röhre striche und ihm nur durch Leitung von e her Wärme zugeführt würde, so ist $mg\ (s - r)$ die Wärmemenge, welche das Calorimeter in jeder Minute verliert, wo g ein constanter Factor ist, welcher sich leicht bestimmen lässt, wenn man die Geschwindigkeit beobachtet, mit welcher das sich selbst überlassene Calorimeter erkaltet. So lange aber die Temperatur des Calorimeters constant bleibt, ist die Wärmemenge, die ihm zugeführt wird, stets derjenigen gleich, welche es verliert, man hat also

$$m' c\ (t - s) = mg\ (s - r),$$

und daraus lässt sich die Wärmecapacität c des Gases, verglichen mit der des Wassers, berechnen.

Auf diese Weise bestimmten die genannten Physiker die specifische Wärme der atmosphärischen Luft in Beziehung auf das Wasser; es war

alsdann leicht, auch die specifische Wärme der anderen Gase auf Wasser zu reduciren.

Die folgende Tabelle enthält die Resultate der Versuche von de la Roche und Berard über die specifische Wärme der Gase bei gleichem Drucke.

Namen der Gase.	Capacität für gleiche Vol.	Cap. für gleiche Gewichte.	
		Luft = 1.	Wasser = 1.
Atmosphärische Luft .	1,000	1,000	0,267
Sauerstoff	0,976	0,855	0,236
Wasserstoff	0,903	12,340	3,294
Stickstoff	1,000	1,032	0,275
Kohlenoxyd	1,034	1,080	0,288
Stickstoffoxydulgas . .	1,350	0,888	0,237
Kohlensäure	1,258	0,828	0,221
Oelbildendes Gas . . .	1,553	1,576	0,421

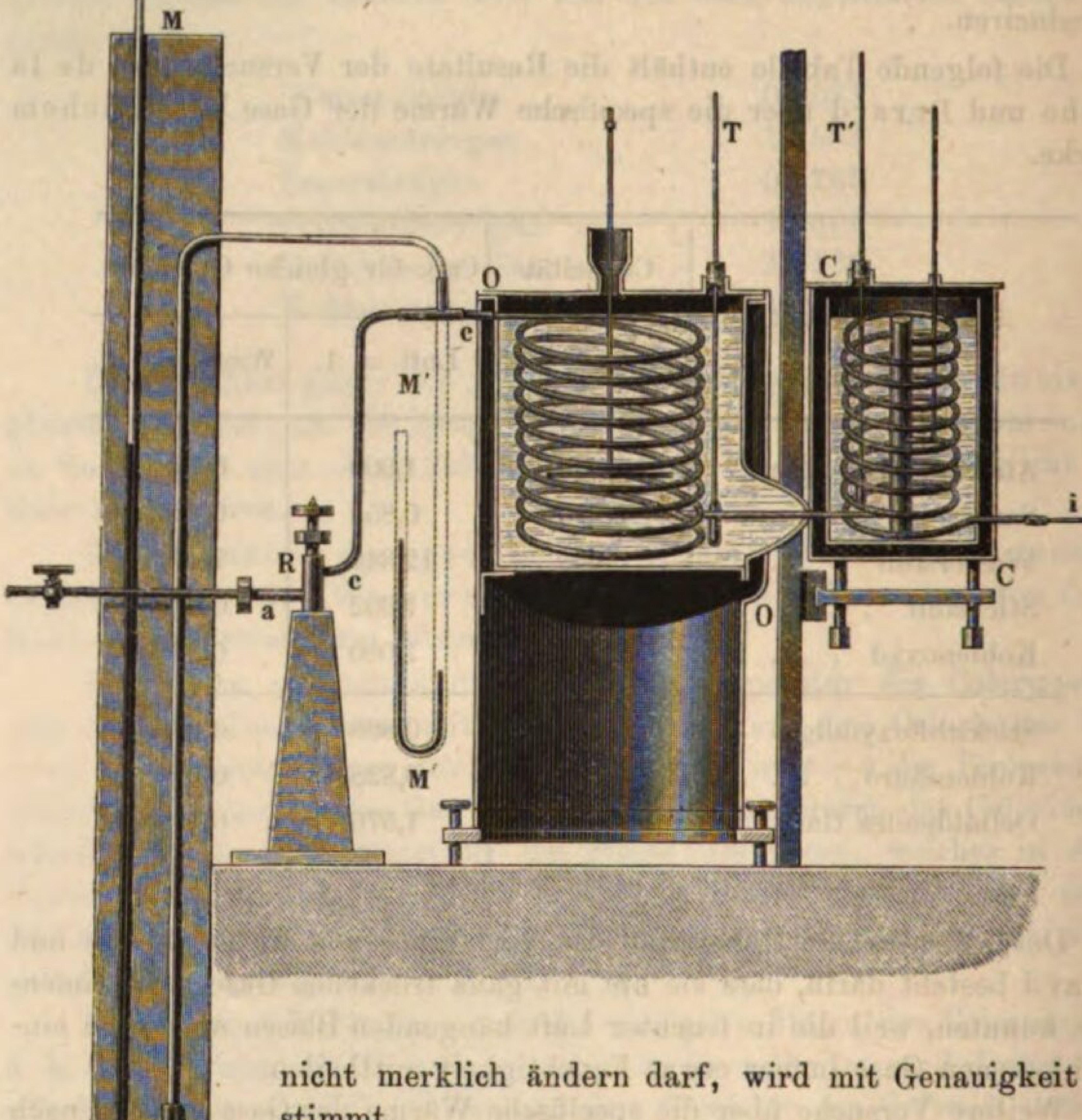
Der wesentlichste Uebelstand des Verfahrens von de la Roche und Berard besteht darin, dass sie nie mit ganz trockenen Gasen experimentiren konnten, weil die in feuchter Luft hängenden Blasen auch dem eingeschlossenen Gase immer etwas Feuchtigkeit mittheilen.

Weitere Versuche über die specifische Wärme der Gase wurden nach verschiedenen Methoden angestellt von Haycraft (Gilb. Annal. LXXVI, 1824), de la Rive und Marcet (Pogg. Annal. X und XVI, 1827 und 1829), Apjohn (Phil. Mag. LXXXII, LXXXIII) und Suermann (Pogg. Annal. XLI, 1837). Die neuesten, umfassendsten mit grosser Umsicht und Genauigkeit sowie auch mit den grossartigsten Hülfsmitteln angestellten Versuche über diesen Gegenstand sind aber diejenigen, welche Regnault angestellt und im XXVI. Bande der *Mémoires de l'académie* u. s. w. (1862) publicirt hat.

Im Princip stimmt das von Regnault angewandte Verfahren mit dem von de la Roche und Berard überein, während aber diese Gelehrten dieselbe kleine Luftmenge wiederholt durch ihren Apparat gehen liessen, experimentirte Regnault mit einem continuirlichen Gasstrome.

Das Gas, welches zum Versuche dienen soll, wird in einem Reservoir aus starkem Kupferblech comprimirt, dessen Rauminhalt ungefähr 35 Liter beträgt, und welches in einem mit Wasser gefüllten Bottich steht. Die Temperatur dieses Wassers, welche auch die Temperatur des comprimirten Gases ist und welche während der Dauer eines Versuchs sich

Fig. 689.



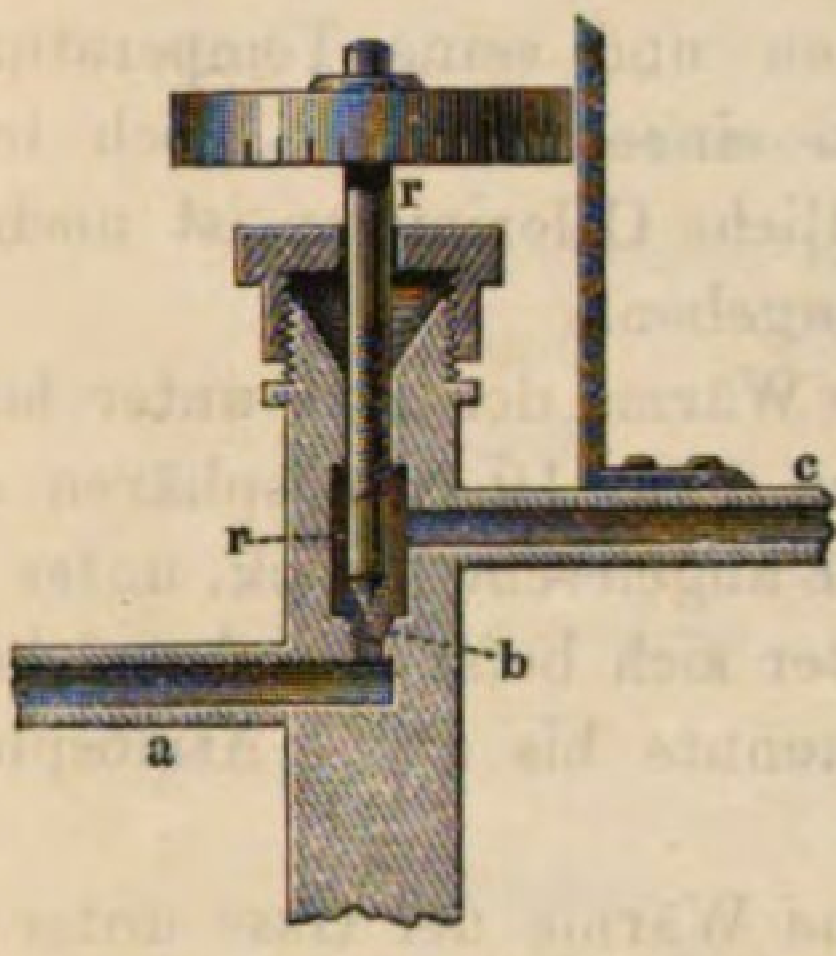
nicht merklich ändern darf, wird mit Genauigkeit bestimmt.

Aus dem Reservoir, welches wir mit *V* bezeichnen wollen, strömt das Gas durch eine Röhrenleitung in das Schlangenrohr des Oelbades *O*, Fig. 689, aus diesem in die Windungen des Calorimeters *C* und aus diesen endlich in die freie Luft.

Es ist wesentlich, dass das Gas während der ganzen Dauer eines Versuchs mit gleichförmiger Geschwindigkeit durch Oelbad und Calorimeter strömt. Da nun aber der Druck im Reservoir *V* stetig abnimmt, so kann diese Gleichförmigkeit des Gasstroms nur dadurch erzielt werden, dass zwischen dem Reservoir *V* und dem Oelbad *O* eine Regulirungsvorrichtung *R* angebracht wird, deren Einrichtung aus Fig. 690 zu ersehen ist. Das Gas gelangt in das Rohr *a* unter demselben Druck, welcher im Reservoir *V* herrscht. Das konische Ende der Mikrometerschraube *r* passt nun genau in die konische Höhlung *b*, welche das Ende der Röhre *a* bildet,

so dass die Oeffnung bei *b* vollständig geschlossen ist, wenn man die Mikrometerschraube *r* ganz herunterschraubt. Je höher aber *r* in die Höhe geschraubt wird, desto grösser wird die Oeffnung, durch welche das Gas aus der Röhre *a* in die Röhre *c* und aus dieser in das Schlangenrohr des Oelbades gelangt. An dem Rohr *c* ist nun seitlich eine Glasröhre luftdicht eingesetzt, welche zu einem offenen, den Druck des Gases in der Röhre *c* messenden Quecksilbermanometer *M* führt. Mit Hülfe der Schraube *r* ist es möglich, diesen Druck während der ganzen Dauer eines Versuchs constant zu halten, es also dahin zu bringen, dass der Gasstrom stets mit gleicher Geschwindigkeit durch das Schlangenrohr in *O* und die Windungen des Calorimeters hindurch strömt.

Fig. 690.



Die Gasmenge, welche während eines Versuchs durch den Apparat strömt, wird dadurch bestimmt, dass man die Spannkraft des im Reservoir *V* befindlichen Gases zu Anfang und zu Ende des Versuchs an einem mit dem Reservoir direct in Verbindung stehenden Manometer mit Genauigkeit misst. Ist der Rauminhalt des Reservoirs *V* bekannt, so kann man aus der Abnahme des Gasdrucks in demselben (seine Temperatur bleibt ja unverändert), die Menge des ausgeströmten Gases berechnen.

Das Bad, durch welches der Gasstrom erwärmt wird, besteht aus einem cylindrischen Gefäss, in welchem sich ein zinnenes Schlangenrohr von 10 Meter Länge und 8 Millimeter innerem Querschnitt befindet. Im Deckel des Oelbades ist eine Oeffnung angebracht, durch welche ein Thermometer *T* eingesteckt und so befestigt wird, dass sein Gefäss das Röhrenstück berührt, durch welches das Gas aus dem Oelbade austritt. Um das Oel in steter Bewegung zu halten, dient eine horizontale kreisförmige Scheibe, welche an einer durch eine centrale Oeffnung des Gefässdeckels herausragenden Stange befestigt ist. Die Erhitzung des Oelbades geschieht mittelst einer Weingeist- oder Gaslampe, deren Flamme man leicht nach Belieben reguliren kann.

Der im Oelbad erwärmte Luftstrom tritt nun in das Calorimeter *C*, um dort seine Wärme wieder an das Kühlwasser abzugeben. Unsere Figur stellt die Einrichtung des Calorimeters dar, wie sie Regnault anwandte, um die specifische Wärme der Gase bei hohem Druck zu bestimmen; für geringeren Druck, welcher nicht merklich vom Druck der Atmosphäre verschieden war, hatte das Calorimeter eine etwas andere Einrichtung. Der aus dem Oelbad kommende Gasstrom tritt zunächst in eine verticale Zinnröhre von 20 Millimeter innerem Durchmesser, welche an beiden Enden geschlossen ist. An das obere Ende dieser cen-

tralen Röhre setzt sich dann ein ungefähr $2^1/_2$ Meter langes Schlangenrohr von 8 Millimeter innerem Durchmesser an, an dessen aus dem Calorimeter hervorragendes Ende ein gläsernes Capillarrohr i angekittet ist.

Das Wasser im Calorimeter wurde durch eine auf und ab bewegte ringförmige Scheibe in Bewegung erhalten und seine Temperatur an einem Thermometer T' abgelesen, dessen einzelne Grade noch in 20 gleiche Theile getheilt waren. Das eigentliche Calorimeter ist noch mit einem Gehäuse von dünnem Tannenholz umgeben.

Bei den Versuchen über die specifische Wärme der Gase unter hohem Druck wurde das Gas im Reservoir V auf 8 bis 10 Atmosphären comprimirt. Der am Quecksilbermanometer M abgelesene Druck, unter welchem das Gas im Oelbad und im Calorimeter sich befand und welcher es durch das Capillarrohr i hindurchpresste, konnte bis auf 4 Atmosphären gesteigert werden.

Bei den Versuchen über die specifische Wärme der Gase unter dem Druck der Atmosphäre war hinter dem Regulirungsapparat R ein kleines Manometer M' angebracht, wie es in unserer Figur durch punktirte Linien angedeutet ist, und welches nur einen geringen Ueberdruck über die äussere Atmosphäre anzeigen konnte. Zwischen dem Manometer M' und dem Oelbad war dann noch ein kurzes Stück einer Glasröhre eingeschaltet, deren Querschnitt kleiner war als der der Röhre c und der des Schlangenrohrs in O, dagegen trat der Gasstrom aus dem Calorimeter unmittelbar in die freie Luft aus, ohne dass eine verengerte Mündung hier den Austritt erschwert hätte.

In Betreff der Details der Versuche und der Berechnung der Resultate müssen wir auf das Originalwerk verweisen.

Aus einer grossen Zahl von Versuchen, bei welchen die Quantität der ausströmenden Luft zwischen 10 bis 33 Gramm in der Minute und die ihr im Oelbad mitgetheilte Temperatur zwischen 100° und 217° variirte und deren Resultate sämmtlich sehr nahe übereinstimmten, ergab sich die specifische Wärme der Luft unter dem Druck der Atmosphäre im Mittel

zwischen 0° und 100° gleich 0,2374
zwischen 0° und 217° gleich 0,2375,

die specifische Wärme des Wassers gleich 1 gesetzt.

Das Oel in $O\,O$ durch eine flüssige Kältemischung von gestossenem Eis und krystallisirtem Chlorcalcium ersetzend, fand Regnault die specifische Wärme der Luft

zwischen — 30° und + 10° gleich 0,2377,

man kann also annehmen, dass die specifische Wärme der Luft sich mit der Temperatur nicht ändert.

In der folgenden Tabelle sind die wichtigsten Resultate zusammengestellt, welche Regnault's Versuche über die specifische Wärme verschiedener Gase unter dem Druck der Atmosphäre ergeben haben.

Namen der Gase.	Specifische Wärme für	
	gleicher Gewichte.	gleicher Volumina.
Atmosphärische Luft .	0,2375	0,2375
Sauerstoff	0,2175	0,2405
Stickstoff	0,2438	0,2370
Wasserstoff	3,4090	0,2359
Kohlenoxydgas	0,2479	0,2399
Chlor	0,1214	0,2962
Kohlensäure	0,2164	0,3308
Stickstoffoxydul . . .	0,2238	0,3413

Die fünf ersten Zahlen der letzten Verticalreihe sind so nahe einander gleich, dass sie zu der Annahme berechtigen, dass für permanente Gase (bei gleichem Druck) die specifische Wärme gleicher Volumina gleich ist.

Für permanente Gase fand Regnault auch, dass ihre specifische Wärme für verschiedene Temperaturen dieselbe bleibt, wie er dies auch für die atmosphärische Luft gefunden hatte.

Für die condensirbaren Gase ist dies nicht mehr der Fall; so fand Regnault z. B. für die specifische Wärme der Kohlensäure

zwischen — 30° und + 10° gleich 0,1843
zwischen — 10° und + 100° gleich 0,2025
zwischen — 10° und + 210° gleich 0,2169,

also mit der Temperatur wachsend.

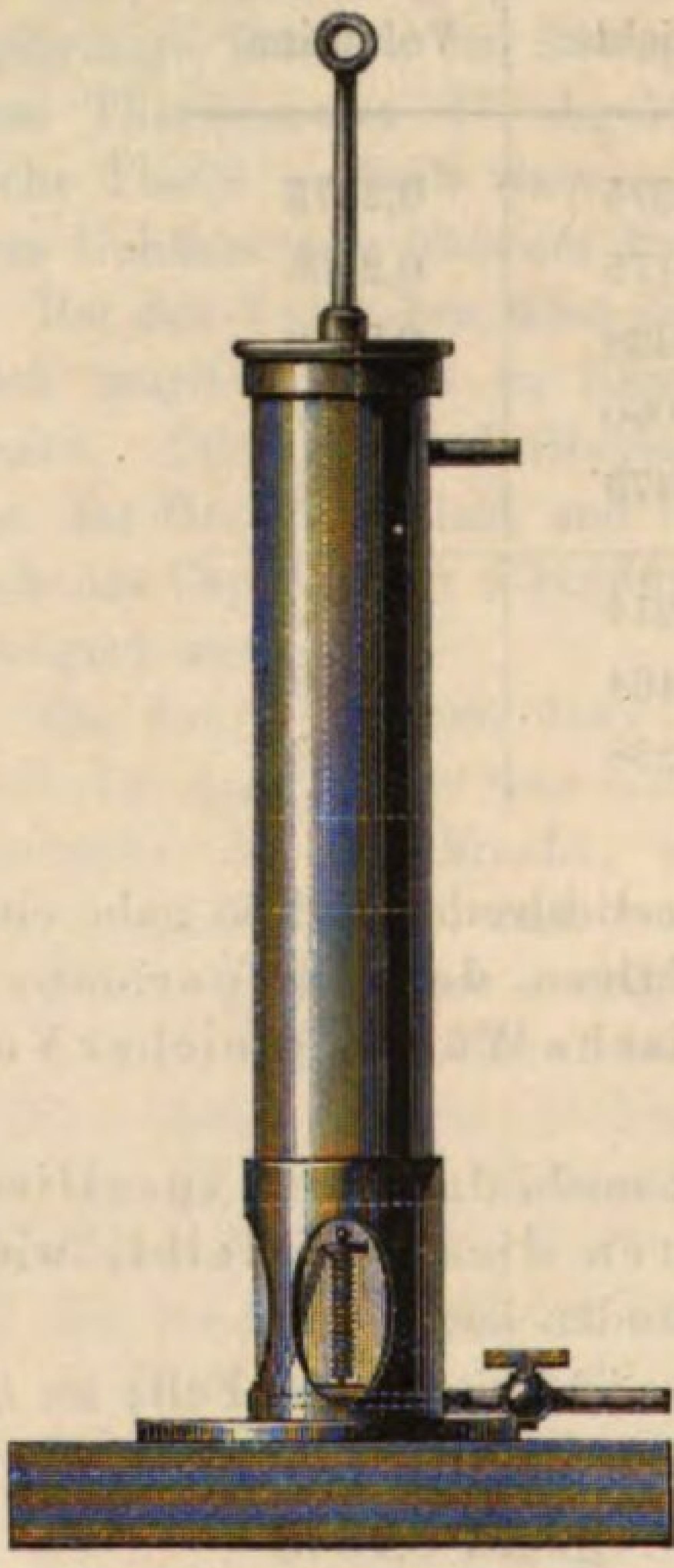
Die Versuche, welche Regnault über die specifische Wärme der Gase unter hohem Druck anstellte, führten zu dem wichtigen Resultate, dass für atmosphärische Luft und Wasserstoffgas (also wohl auch für die übrigen permanenten Gase) die specifische Wärme unabhängig ist von dem Druck, unter welchem sie stehen, dass also die gleiche Gewichtsmenge eines Gases für die gleiche Temperaturerhöhung der gleichen Wärmemenge bedarf, mag sie nun ein kleines oder ein grosses Volumen einnehmen.

Früher waren die meisten Physiker der Ansicht, dass die specifische Wärme der Luft mit ihrer Ausdehnung zunehme.

Wärmecapacität der Gase bei constantem Volumen. 257
Wenn eine abgesperrte Luftmasse rasch comprimirt wird, so findet stets eine Erwärmung, wenn sie rasch expandirt wird, findet eine

Erkaltung statt. Es lässt sich dies sehr schön mit Hülfe des in Figur 691 dargestellten, von Favre und Silbermann construirten Apparates nachweisen. In einem metallenen Stiefel lässt sich ein luftdicht schliessender Kolben auf- und abschieben. Im unteren Theile des Stiefels sind Oeffnungen angebracht, die mit Glas luftdicht verschlossen sind, so dass man durch diese Oeffnungen hindurch ein auf dem Boden des Apparates stehendes Breguet'sches Thermometer beobachten kann.

Fig. 691.



$\frac{1}{4}$

Die Gase werden in den Stiefel mittelst zweier Röhren eingeführt; die eine ist an dem Boden des Apparates angebracht und mit einem Hahn verschliessbar, die Oeffnung der anderen liegt gerade unter dem Kolben, wenn dieser seinen höchsten Stand hat.

Die Bewegung des Kolbens wird mittelst eines mit der Kolbenstange durch ein Watt'sches Parallelogramm verbundenen Hebels bewerkstelligt. Die Arretirung des Kolbens an bestimmten Stellen des Cylinders wird dadurch bewirkt, dass der Hebel durch Bolzen an den entsprechenden Stellen seiner Bahn angehalten wird.

Als der Stiefel ganz mit Luft unter dem Druck der Atmosphäre und von der Temperatur der Umgebung gefüllt war, wurde dieselbe rasch auf die Hälfte ihres ursprünglichen Volumens zusammengepresst, und dabei stieg das Thermometer um 13,2⁰.

Nachdem die eingeschlossene comprimirte Luft sich wieder bis zur Temperatur der Umgebung abgekühlt hatte, wurde der Kolben rasch in seine erste Stellung zurückgezogen und dabei sank das Thermometer um 12,8⁰.

Die Temperaturerhöhung durch Compression der Luft lässt sich auch mit Hülfe des pneumatischen Feuerzeuges erläutern. Dieser Apparat besteht aus einer messingenen oder aus einer dickwandigen gläsernen unten geschlossenen Röhre, Fig. 692, in welcher sich ein aus Lederscheiben gebildeter, fest an die Wand anschliessender Kolben auf- und abschieben lässt. Dieser Kolben, welcher mit Oel bestrichen sein muss, damit er bei gutem Schluss doch möglichst leicht geht, ist in Fig. 693 in natürlicher Grösse im Durchschnitt dargestellt. Nachdem in die untere Höhlung dieses Kolbens etwas Zunder eingesteckt worden ist,

wird er oben in das offene Ende der Röhre hineingeführt und so ein gewisses Luftquantum in derselben abgesperrt. Wenn nun aber, während das geschlossene Ende des Rohres gegen eine feste Widerlage angestemmt ist, der Kolben durch einen kräftigen Schlag fast bis auf den Boden des Rohres hinabgetrieben und dann rasch wieder herausgezogen wird, so brennt der Schwamm in der Höhlung des Kolbens.

Fig. 692.



Fig. 693.

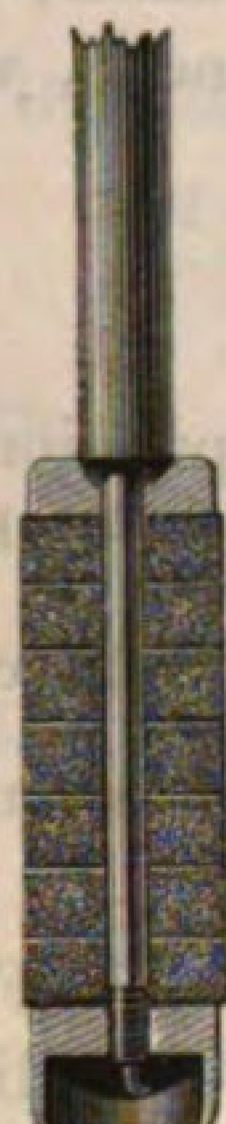
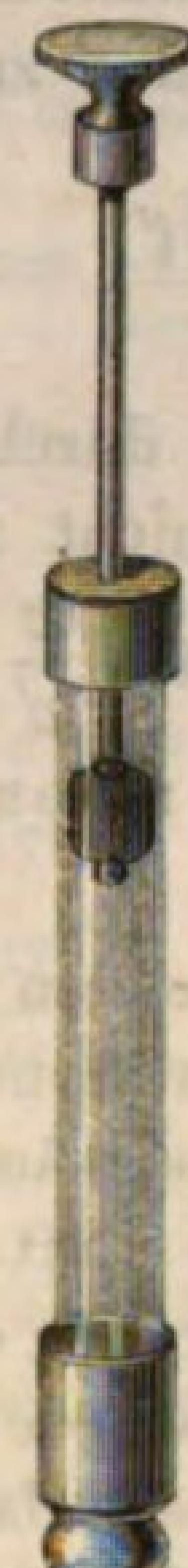


Fig. 694.



Die bei dem Einstecken des Kolbens abgesperrte Luft wird bei dem raschen Niederdrücken des Kolbens stark comprimirt und die in Folge dieser Compression stattfindende Wärmeentwickelung ist bedeutend genug, um den Schwamm zu entzünden.

Diesen Versuch hat Tyndall auf eine sehr nette Weise abgeändert. In die Röhre eines starken, gläsernen pneumatischen Feuerzeugs, Fig. 694, brachte er ein Stückchen Baumwolle, welches mit Schwefelkohlenstoff getränkt war, entfernte es aber wieder, nachdem die Luft in der Röhre eine Partie Schwefelkohlenstoffdampf aufgenommen hatte. Beim raschen Zusammenpressen der Luft in der Röhre zeigt sich dann ein Lichtblitz innerhalb derselben. Die durch den Druck entstandene Wärme genügte, um den Dampf zu entzünden.

Wir haben im vorigen Paragraphen die specifische Wärme der Gase bei constantem Drucke betrachtet; sie konnten sich bei ihrer Erwärmung frei ausdehnen. Es ist aber auch wichtig, die Wärmecapacität der Gase bei constantem Volumen zu kennen, d. h. zu wissen, welche Wärmemenge nöthig ist, um die Temperatur eines Gases zu erhöhen, wenn man seine Ausdehnung hindert, wenn also durch die Temperaturerhöhung seine Spannkraft vermehrt wird.

Die Idee, die Wärmecapacität der Gase bei constantem Volumen zu ermitteln und sie mit ihrer Wärmecapacität bei constantem Drucke zu vergleichen, rührt von Laplace her.

Nehmen wir an, eine Luftmasse sei durch eine Temperaturerhöhung von t^0 bei unverändertem Drucke ausgedehnt; wird nun diese Luftmasse auf ihr ursprüngliches Volumen zusammengepresst, so erleidet sie eine abermalige Temperaturerhöhung von t' Graden, ohne dass neue Wärme zugeführt wird; dieselbe Wärmemenge also, welche im Stande ist, die Temperatur dieser Luftmasse um t Grad zu erhöhen, wenn sie sich bei

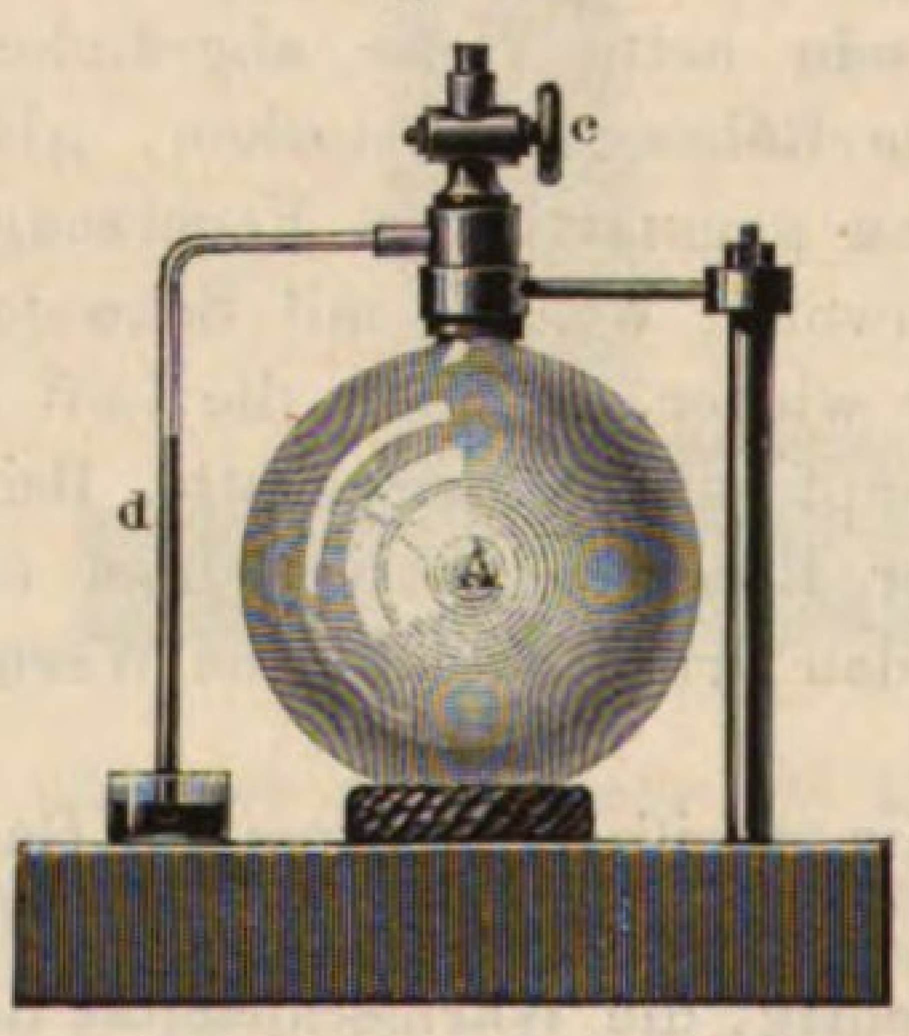
unverändertem Druck ausdehnen kann, würde eine Temperaturerhöhung von $t + t'$ Graden hervorbringen, wenn keine Ausdehnung stattfinden kann. Die specifische Wärme c bei constantem Drucke ist also grösser als die specifische Wärme c' bei constantem Volumen, und zwar verhalten sich die Wärmecapacitäten c und c' zu einander, wie $t + t'$ zu t, es ist also

$$\frac{c}{c'} = \frac{t + t'}{t}.$$

Die Temperaturerhöhung, welche durch Compression der Luft hervorgebracht wird, lässt sich direct nicht mit Genauigkeit bestimmen, doch lässt sich der Werth des Quotienten $\frac{c}{c'}$ auf indirectem Wege aus folgendem von Clement und Desormes angestellten Versuche ableiten.

Die Luft in einem 28,4 Liter fassenden Ballon A, Fig. 695, wurde etwas verdünnt, und der Grad der Verdünnung durch die Höhe h einer im Manometerrohre d gehobenen Wassersäule gemessen. Nach einiger Zeit, während welcher die verdünnte Luft im Ballon vollkommen die Temperatur der Umgebung angenommen hatte, wurde ein Hahn c geöffnet, der so weit war, dass längstens in $^1/_2$ Secunde das Gleichgewicht mit der äusseren Luft wieder hergestellt war, und dann rasch wieder geschlossen. Durch das Eindringen der äusseren Luft war die verdünnt gewesene Luft im Inneren des Ballons zusammengedrückt und in Folge dessen auch etwas erwärmt worden; wenn man also den Apparat sich selbst überlässt, so wird die durch Compression der Luft frei gewordene Wärme sich allmälig verlieren, und in Folge dessen wird die Wassersäule in d von Neuem und zwar um eine Höhe steigen, welche wir mit h' bezeichnen wollen. Die Temperaturerhöhung t', welche durch die Compression hervorgebracht wird, verhält sich aber zu der Temperaturerhöhung $t + t'$, welche nöthig wäre, um die Luft im Ballon bei unverändertem Drucke durch Erwärmen so viel zu verdünnen, als es durch die Luftpumpe geschehen war, sehr nahe wie die Druckhöhen, folglich h' und h, d. h. es ist

Fig. 695.



$$t + t' : h = t' : h' \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

also

$$t + t' = h \frac{t'}{h'} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

aus 1) folgt ferner

$$t : h - h' = t' : h'$$

oder

$$t = (h - h') \frac{t'}{h'} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 3)$$

und wenn man Gleichung 3) in Gleichung 2) dividirt

$$\frac{t + t'}{t} = \frac{h}{h - h'},$$

also endlich auch

$$k = \frac{c}{c'} = \frac{h}{h - h'} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 4)$$

Ein von Clement-Desormes angestellter Versuch ergab

$$h = 137^{mm}, \; h' = 36^{mm}, \text{ also}$$

$$k = \frac{137}{101} = 1{,}356.$$

Masson fand nach dieser Methode $k = 1{,}419$.

Die nach Gleichung 4) berechneten Werthe von k fallen aus zwei Gründen zu klein aus; einmal weil schon während des Einströmens der Luft eine merkliche Wärmemenge durch die Gefässwände weggenommen wird, wenn die Einströmungsöffnung nicht hinlänglich gross ist, um eine sehr rasche Ausgleichung des Druckes zu gestatten, dann aber ist die Gleichung 4) selbst nur eine Näherungsformel, welche nur dann nahezu richtige Werthe für k liefern kann, wenn die ursprüngliche Verdünnung der Luft gering, also h nur ein unbedeutender Bruchtheil des atmosphärischen Druckes ist.

Weisbach und Hirn änderten diese Methode dahin ab, dass sie die Luft in einem entsprechenden Gefässe comprimirten. Nachdem der Ueberdruck h der comprimirten Luft an einem Manometer beobachtet worden war, wurde eine grosse Ausströmungsöffnung momentan geöffnet und beobachtet, um welche Höhe h' die Manometersäule wieder stieg, während die durch das rasche Ausströmen abgekühlte Luft sich allmälig wieder bis zur Temperatur der Umgebung erwärmte.

Bei diesen Versuchen war übrigens die Compression der Luft zu bedeutend, als dass man zur Berechnung von k die Näherungsgleichung 4) hätte gebrauchen können. Die ohne höhere Rechnung nicht ableitbare Gleichung, nach welcher hier k berechnet werden muss, ist

$$k = \frac{\log (B + h) - \log B}{\log (B + h) - \log (B + h')}$$

in welcher B den Barometerstand, h den Ueberdruck der comprimirten Luft und h' die Höhe bezeichnet, um welche die beim momentanen Ausströmen auf 0 gesunkene Manometersäule wieder steigt, während die erkaltete Luft sich bis zur Temperatur der Umgebung erwärmt.

Bei einem von **Hirn** mit einem Gefäss von 10 Liter Inhalt angestellten Versuch waren die durch eine Säule von Schwefelsäurehydrat gemessenen Druckhöhen

$$B = 5{,}469 \text{ Meter}$$
$$h = 3{,}543$$
$$h_1 = 0{,}808,$$

also $$k = 1{,}38.$$

Als Mittel aus vierzig derartigen Versuchen fand **Hirn**

$$k = 1{,}3845.$$

Weisbach fand nach dieser Methode

$$k = 1{,}40.$$

Durch Betrachtungen, die wir nicht weiter verfolgen können, hat **Dulong** aus der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls in der Luft für diesen Quotienten den Werth 1,421 abgeleitet.

Viertes Capitel.

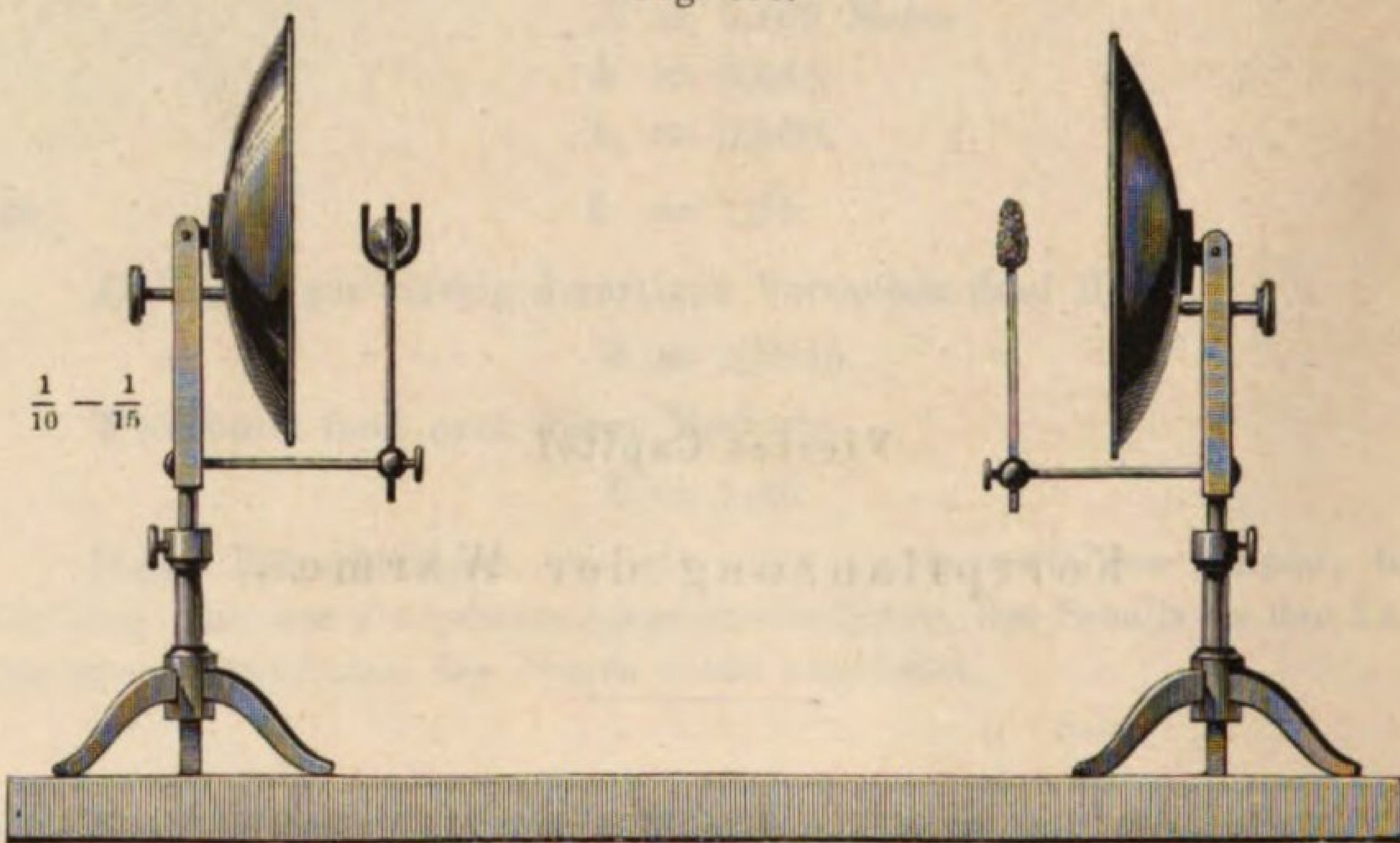
Fortpflanzung der Wärme.

Existenz der strahlenden Wärme. Die strahlende Wärme 258
durchdringt gewisse Körper in derselben Weise, wie das Licht durch die durchsichtigen Körper hindurchgeht; die Sonnenstrahlen z. B. treffen unsere Erde, nachdem sie die ganze Atmosphäre durchdrungen haben; sie erwärmen die Erdoberfläche, während die höheren Regionen der Luft kalt bleiben; die Wärmestrahlen gehen also grösstentheils durch die Atmosphäre hindurch, ohne von ihr absorbirt zu werden. Wenn man sich dem Feuer eines Ofens nähert, so empfindet man eine brennende Hitze, und doch ist die Luft zwischen uns und dem Feuer nicht bis zu einem solchen Grade erwärmt, denn wenn man einen Schirm vorhält, verschwindet diese Hitze augenblicklich, was unmöglich wäre, wenn wirklich die ganze uns umgebende Luftmasse eine so hohe Temperatur hätte. Heisse Körper können also nach allen Seiten hin wärmeerregende Strahlen aussenden, welche durch die Luft hindurchgehen, wie die Lichtstrahlen durch durchsichtige Körper; man spricht deshalb von strahlender Wärme und von Wärmestrahlen, wie man von Lichtstrahlen spricht.

Wenn man zwei grosse sphärische oder parabolische Hohlspiegel, Fig. 696 (a. f. S.), von polirtem Messingblech, 5 bis 6 Meter von einander entfernt, so aufstellt, dass die Axen beider Spiegel in eine Linie zusammenfallen, wenn man alsdann in den Brennpunkt des einen Spiegels ein Stück Zunder, in den Brennpunkt des anderen aber eine fast weissglühende Eisenkugel oder glühende Kohlen bringt, deren Verbrennung man durch einen Blasebalg lebhaft unterhält, so wird sich der Zunder alsbald entzünden, als ob er mit dem Feuer in Berührung wäre. Dieser Versuch zeigt, dass der glühende Körper Wärmestrahlen aussendet; denn es ist klar, dass der Zunder nicht etwa dadurch angezündet wird, dass die zwischenliegenden Luftschichten allmälig so stark erhitzt worden sind.

Bringt man den Zunder aus dem Brennpunkte weg, so wird er nicht mehr entzündet, wenn man ihn auch dem glühenden Körper weit näher bringt.

Fig. 696.



Bringt man an die Stelle der glühenden Kugel eine Kugel von 300° und an die Stelle des Zunders ein gewöhnliches Thermometer, so wird das Thermometer rasch steigen; also auch die Kugel von 300° sendet Wärmestrahlen aus.

Wenn man die 300° heisse Kugel mit einem Gefässe voll kochenden Wassers oder mit Wasser von 90°, 80° oder 70° vertauscht, so beobachtet man vielleicht gar keine Temperaturerhöhung mehr am Thermometer; dies beweist aber noch nicht, dass die Wände des Gefässes bei dieser Temperatur keine Wärme mehr ausstrahlen, sondern nur, dass hier das gewöhnliche Thermometer nicht empfindlich genug ist. Man muss deshalb empfindlichere Instrumente zu Hülfe nehmen, etwa Rumford's oder Leslie's Differentialthermometer oder Melloni's Thermomultiplicator.

Rumford's Differentialthermometer, Fig. 697, besteht aus zwei Glaskugeln *a* und *b*, welche durch eine gebogene Glasröhre verbunden sind, deren horizontaler Theil 5 bis 6 Decimeter lang ist. In dieser Röhre befindet sich ein Index von Alkohol oder Schwefelsäure, auf welchen von beiden Seiten die Luft der Kugel drückt; er wird also nur dann an einer bestimmten Stelle stehen bleiben, wenn der Druck von beiden Seiten gleich ist. Wenn die Temperatur beider Kugeln vollkommen gleich ist, so wird der Index eine bestimmte Stelle der hinter dem Rohre angebrachten Theilung einnehmen. Wird nun die eine Kugel mehr erwärmt als die andere, so wird der Index um so weiter gegen die kältere Kugel hingetrieben, je grösser die Temperaturdifferenz der beiden Kugeln ist.

Leslie's Differentialthermometer, Fig. 698, ist auf ähnliche Weise construirt, nur sind die verticalen Arme der sie verbindenden Röhre länger und stehen einander näher.

Fig. 697.

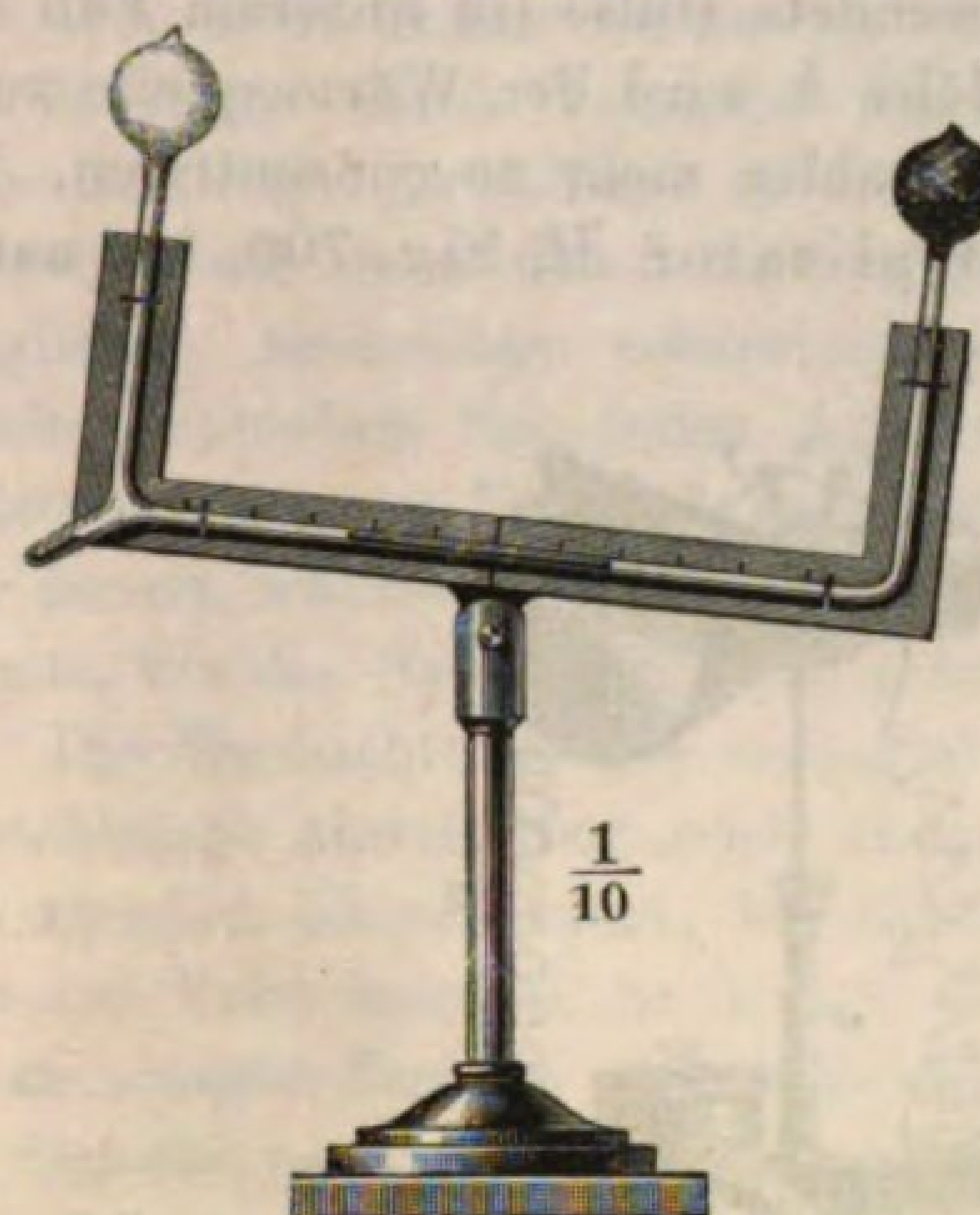
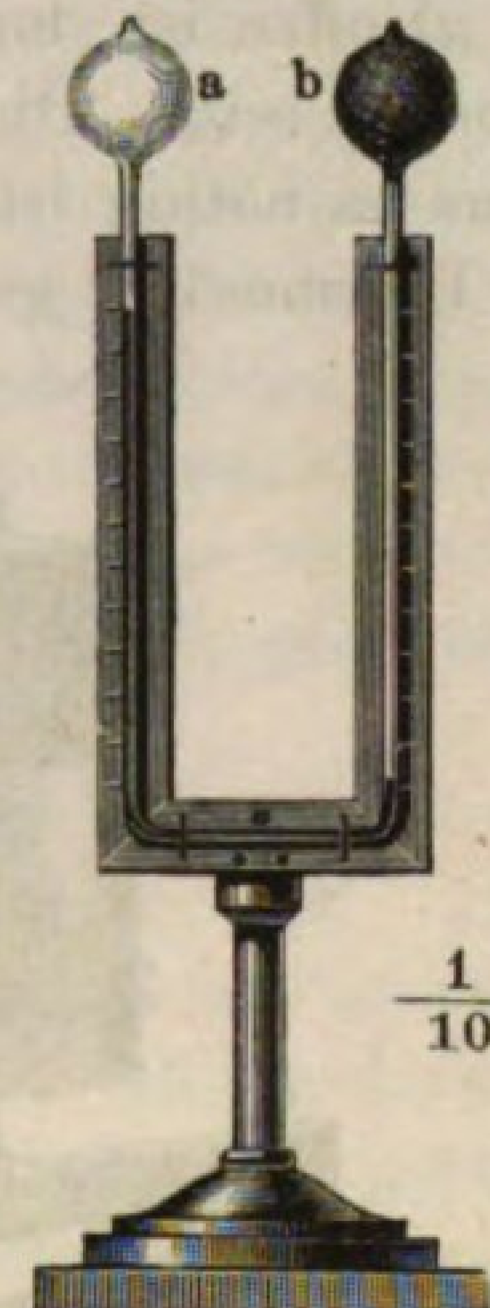


Fig. 698.

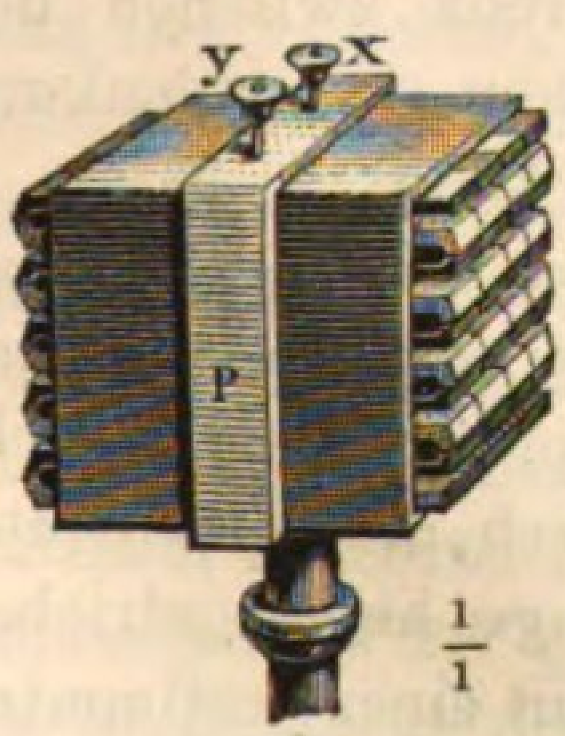


Wenn man in den Brennpunkt des einen Hohlspiegels, Fig. 696, die eine Kugel eines Differentialthermometers, in den Brennpunkt des anderen aber irgend einen Körper von 1 bis 2 Centimeter Durchmesser bringt, so wird sich zeigen, dass dieser stets Wärme ausstrahlt, sobald seine Temperatur nur etwas die Temperatur der Umgebung übersteigt.

Wenn die Temperatur der Umgebung über 0⁰ ist, so wird ein Stück Eis, in den Brennpunkt des einen Hohlspiegels gebracht, das Sinken eines Thermoskops veranlassen, welches sich im Brennpunkte des anderen Hohlspiegels befindet. Dies beweist aber nicht, dass eine Kältestrahlung stattfindet; das Thermoskop sinkt, weil es mehr Wärme nach dem Eise ausstrahlt, als es von dem Eise zurückempfängt.

Wenn man des Nachts einen Hohlspiegel gegen den heiteren Himmel richtet, so wird ein Thermometer, welches im Brennpunkte dieses Hohlspiegels sich befindet, sinken müssen, weil es seine Wärme nach dem freien Himmelsraume ausstrahlt, ohne dass von dorther sein Wärmeverlust ersetzt wird.

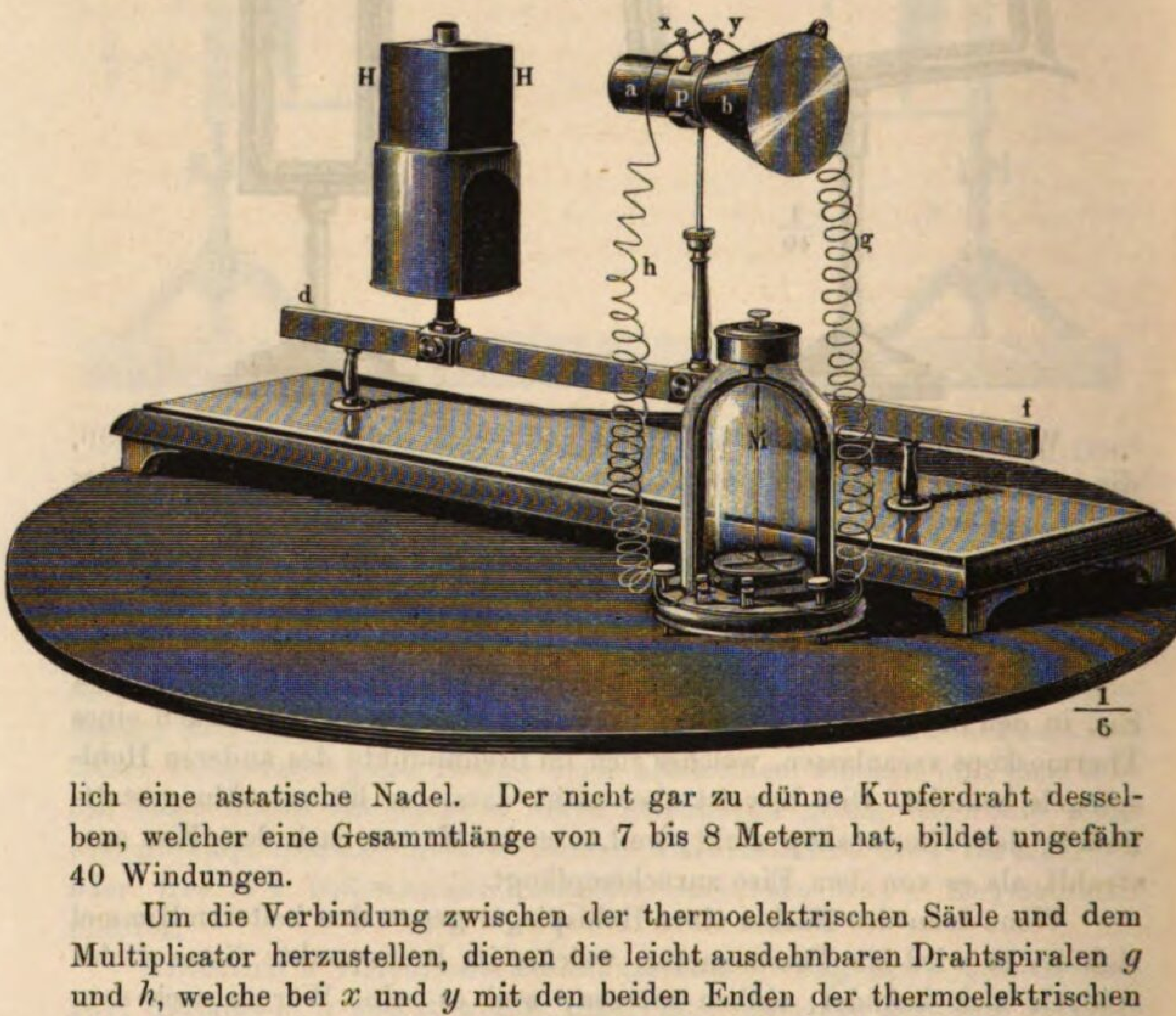
Fig. 699.



Weit empfindlicher als das Differentialthermometer ist Melloni's Thermomultiplicator. Er besteht aus einer thermoelektrischen Säule, Figur 699, wie sie schon früher (S. 472) beschrieben wurde, und aus einem sehr empfindlichen Multiplicator. Die Säule ist sorgfältig an beiden Enden mit Russ geschwärzt und mit ihrer Fassung bei *p*, welche bei einigen Instrumenten viereckig ist, wie

Fig. 699, bei anderen rund, wie Fig. 700, auf einem Stativ befestigt. Die Hülsen *a* und *b*, welche an die Fassung *p* angesteckt werden, dienen dazu, Luftströmungen und Seitenstrahlungen von der Thermosäule abzuhalten. Während die der Wärmequelle zugewendete Hülse (in Fig. 700 die Hülse *a*) offen ist, muss die abgewendete Hülse (in unserem Fall also *b*) geschlossen sein. Die konische Hülse *b* wird der Wärmequelle zugekehrt, wenn es nöthig ist, die Wärmestrahlen mehr zu concentriren. Der zu dieser Thermosäule gehörige Multiplicator *M*, Fig. 700, hat natür-

Fig. 700.



lich eine astatische Nadel. Der nicht gar zu dünne Kupferdraht desselben, welcher eine Gesammtlänge von 7 bis 8 Metern hat, bildet ungefähr 40 Windungen.

Um die Verbindung zwischen der thermoelektrischen Säule und dem Multiplicator herzustellen, dienen die leicht ausdehnbaren Drahtspiralen *g* und *h*, welche bei *x* und *y* mit den beiden Enden der thermoelektrischen Säule, bei *m* und *n* mit den Enden des Multiplicatordrahtes in leitender Verbindung stehen. Die geringste Temperaturdifferenz zwischen den beiden geschwärzten Enden der Säule bewirkt nun schon eine Ablenkung der Nadel, die man auf dem getheilten Kreise ablesen kann.

Man muss hier wohl den anfänglichen Ausschlag von dem eigentlichen Ausschlagswinkel, d. h. von dem Winkel unterscheiden, welchen die neue Gleichgewichtslage der Nadel mit der ursprünglichen Gleichgewichtslage derselben macht. Wenn die Nadel durch die Einwirkung des Stromes aus ihrer ursprünglichen Gleichgewichtslage herausgetrieben wird, so kommt sie in ihrer neuen Gleichgewichtslage mit einer bestimmten

Geschwindigkeit an, vermöge welcher sie noch weiter geht; auf dem Rückwege geht die Nadel abermals über ihre neue Gleichgewichtslage hinaus, und so kommt sie erst nach einer Reihe von Schwingungen, welche immer kleiner werden, zur Ruhe.

Um nicht immer warten zu müssen, bis die Nadel zur Ruhe kommt, hat Melloni durch Versuche das Verhältniss zwischen dem ersten und dem definitiven Ausschlage zu ermitteln gesucht, d. h. er bestimmte durch Versuche, wie gross der definitive Ausschlag ist, welcher einem jeden anfänglichen Ausschlage entspricht. Die Kenntniss dieses Verhältnisses, welches natürlich für jeden Apparat besonders ermittelt werden muss, bietet den grossen Vortheil, dass ein jeder Versuch nur 10 bis 12 Secunden dauert, während er mehrere Minuten dauern würde, wenn man warten müsste, bis die Nadel zur Ruhe gekommen ist.

Die Beobachtung des ersten Ausschlages anstatt der neuen Gleichgewichtslage bietet aber noch einen weiteren Vortheil dar. Da es nämlich ziemlich lange dauert, bis die Nadel in ihrer neuen Gleichgewichtslage zur Ruhe kommt, so dringt unterdessen die Wärme durch Leitung bis zu einiger Tiefe in die Säule ein, und es dauert dann geraume Zeit, bis dieselbe nach dem Aufhören der Strahlung wieder auf ihre ursprüngliche Temperatur erkaltet und so wieder zu einem neuen Versuch brauchbar ist.

Die Beziehung, welche zwischen der Ablenkung der Nadel und der Temperaturdifferenz der Löthstellen der Säule stattfindet, lässt sich zwar nicht auf theoretischem, aber doch auf empirischem Wege ermitteln. Nachdem Melloni gezeigt hatte, dass die Stromstärke einer Säule von Wismuth und Antimon der Temperaturdifferenz der Löthstellen proportional ist, kam es darauf an, zu ermitteln, in welchem Verhältniss die Ablenkung der Nadel zur Stromstärke steht. Zu diesem Zwecke brachte Melloni auf jeder Seite der Säule eine constante Wärmequelle, etwa eine Locatelli'sche Lampe *L*, eine kleine Oellampe mit quadratischem Docht, in solcher Entfernung an, dass die eine für sich allein wirkend eine Ablenkung von etwa 40° nach der rechten, die andere aber für sich allein eine Ablenkung von 35° nach der linken Seite bewirkte; liess er nun beide Wärmequellen gleichzeitig wirken, so erhielt er eine Ablenkung von 15° nach der rechten Seite. Eine Ablenkung von 5° zwischen 35° und 40° entspricht also einer Ablenkung von 15°, von 0 an gerechnet. Man begreift nun, wie man durch Abänderung dieses Versuchs eine Tabelle entwerfen kann, deren erste Columne die beobachteten Ablenkungen, die zweite aber die entsprechende Anzahl von Graden enthält, welche man erhalten würde, wenn die Ablenkung stets der Stromstärke proportional wäre, wenn also die Wirkung des Stromes auf die Nadel nicht um so schwächer wäre, je mehr sie abgelenkt ist. Für den Apparat, mit welchem Melloni seine Versuche anstellte, waren die Zahlen in beiden Columnen bis 20° ganz gleich, d. h. bis 20° war die Ablenkung der Nadel der Stromstärke proportional; den beobachteten Ablenkungen 25, 30, 35,

40 und 45° entsprachen aber die Werthe 27, 35, 47, 62 und 83° der zweiten Columne. Ein Strom also, welcher eine Ablenkung von 40° bewirkt, ist 62mal stärker als ein anderer, welcher nur eine Ablenkung von 1° hervorbringt. Melloni hat jedoch seine Versuche so eingerichtet, dass die Ablenkungen stets kleiner als 30° waren.

Wenn man Melloni's Thermomultiplicator anwendet, so hat man gar keine Hohlspiegel mehr nöthig, um die Wärmestrahlung nachzuweisen. Wenn man in einer Entfernung von mehreren Fussen die Hand gegen die Oeffnung der Hülse *b* hält, so ist die von ihr ausgehende Wärmestrahlung schon hinreichend, um die Nadel bedeutend abzulenken.

Es versteht sich von selbst, dass man statt eines gewöhnlichen Galvanometers auch ein Spiegelgalvanometer anwenden und so die Erscheinungen der strahlenden Wärme einem grösseren Auditorium zeigen kann.

259 **Wärmestrahlungsvermögen der Körper.** Das Vermögen der Körper, die Wärme auszustrahlen, ist sehr ungleich und hängt wesentlich von dem Zustande der Oberfläche ab; im Allgemeinen strahlen die Oberflächen der weniger dichten Körper unter sonst gleichen Umständen mehr Wärme aus als die Oberflächen dichter Körper. Die Ungleichheit des Strahlungsvermögens verschiedener Oberflächen hat Leslie folgendermaassen nachgewiesen: Er brachte in den Brennpunkt des einen Hohlspiegels, Fig. 696, die eine Kugel seines Differentialthermometers und stellte in den Brennpunkt des anderen Hohlspiegels einen hohlen mit heissem Wasser gefüllten Würfel von Messingblech auf, dessen Seitenlänge 15 bis 18 Centimeter betrug; die eine Seitenfläche dieses Würfels war mit Russ überzogen, eine andere polirt; wurde nun die polirte Fläche dem Spiegel zugekehrt, so war die Wirkung auf das Differentialthermometer bei weitem geringer, als wenn man die berusste Fläche dem Spiegel zukehrte; die mit Russ geschwärzte Fläche strahlt also weit mehr Wärme aus als die polirte Metallfläche.

Viel genauere Resultate lassen sich mit dem Thermomultiplicator erzielen. Ein Hohlwürfel *H*, Fig. 700, von Messingblech, dessen Seitenlänge 7 bis 8 Centimeter beträgt und welcher mit heissem, durch eine Weingeistlampe auf constanter Temperatur gehaltenem Wasser ungefähr zu $^3/_4$ gefüllt ist, steht auf einer cylindrischen Hülse von Messingblech, welche zur Aufnahme der Weingeistlampe dient und deren obere Fläche bis auf einen ringförmigen Rand durchbrochen ist, so dass die Flamme der Weingeistlampe den Boden des Würfels bespülen kann. Die Thermosäule wird in der Art aufgestellt, wie Fig. 700 zeigt, und zwar so, dass die Mitte des Würfels und die Mitte der Thermosäule in gleicher Höhe liegen. Die Seitenflächen des Würfels waren bei den von Melloni angestellten Versuchen auf verschiedene Weise präparirt, nämlich eine mit Russ, eine mit Bleiweiss, eine mit Tusch überzogen und eine polirt. Je nachdem die eine oder die andere Seitenfläche der Thermosäule zu-

gekehrt ist, sind die Ablenkungen der Nadel sehr ungleich; aus den beobachteten Ablenkungen ergiebt sich dann ohne Weiteres das Verhältniss, in welchem die Emissionsfähigkeit der verschiedenen Flächen zu einander steht. Auf diese Weise wurde das Ausstrahlungsvermögen folgender Körper bestimmt:

Kienruss	100	Tusch	85
Bleiweiss	100	Gummilack . . .	72
Hausenblase . .	91	Metallfläche . .	12

Wenn man also mit 100 das Ausstrahlungsvermögen des Kienrusses bezeichnet, so ist das Ausstrahlungsvermögen einer polirten Metallfläche gleich 12, also nur $\frac{12}{100}$ von dem der Kienrussfläche.

Melloni hat gezeigt, dass das Strahlungsvermögen eines und desselben Metalls von seiner Dichtigkeit abhängt; denn eine gegossene Platte strahlt mehr Wärme aus, als eine gehämmerte und gewalzte. Wenn man die Oberfläche einer gehämmerten polirten Metallplatte ritzt, so wird ihr Strahlungsvermögen erhöht, weil durch das Ritzen weniger dichte Stellen blossgelegt werden; eine solche Erhöhung des Strahlungsvermögens durch Ritzen tritt bei gegossenen und ohne Druck polirten Metallplatten nicht ein, ja bei solchen wird sogar das Strahlungsvermögen etwas vermindert, weil beim Ritzen immer ein geringer Druck ausgeübt, also die Dichtigkeit an einigen Stellen des Metalls etwas vergrössert wird.

Bei solchen Körpern, deren Dichtigkeit durch Druck nicht geändert werden kann, wie Marmor, Glas u. s. w., hat das Ritzen der Oberfläche gar keinen Einfluss auf das Strahlungsvermögen.

Verhalten der Körper gegen Wärmestrahlen. Die Wärmestrahlen, welche einen Körper treffen, können entweder 260

1) in seine Masse eindringen oder
2) an seiner Oberfläche zurückgeworfen werden.

Die in einen Körper eindringenden Strahlen können nun aber entweder von demselben absorbirt und in fühlbare Wärme verwandelt werden, oder sie können, ohne eine Erwärmung in demselben zu bewirken, durch denselben hindurchgehen, wie die Lichtstrahlen durch durchsichtige Körper.

Ein Beweis für die Absorption der Wärmestrahlen wird schon durch den auf Seite 812 besprochenen Versuch mit den Hohlspiegeln geliefert; die Temperaturerhöhung des in den Brennpunkt des einen Hohlspiegels gebrachten Körpers ist lediglich die Folge davon, dass er die auf ihm concentrirten Strahlen absorbirt. Dass dies Absorptionsvermögen mehr oder weniger allen festen und flüssigen Körpern zukommt, geht schon daraus hervor, dass alle, den Sonnenstrahlen ausgesetzt, eine Temperatur annehmen, welche höher ist als die Temperatur der umgebenden Luft.

Das Absorptionsvermögen ist nicht für alle Körper gleich, was schon daraus hervorgeht, dass sie nicht gleiches Emissionsvermögen haben;

denn eine Oberfläche, welche leicht Wärmestrahlen aussendet, muss umgekehrt auch die Fähigkeit haben, diese Strahlen einzusaugen. Die Ungleichheit des Absorptionsvermögens lässt sich schon durch einen einfachen Versuch zeigen: Man setze nur ein Thermometer, dessen Kugel geschwärzt ist, den Sonnenstrahlen aus, so wird es weit höher steigen als ein anderes, dessen Kugel nicht geschwärzt ist; die geschwärzte Oberfläche der einen Thermometerkugel absorbirt also offenbar mehr Wärmestrahlen als die glänzende Oberfläche der anderen.

Die von einem Körper absorbirten Wärmestrahlen sind es also, welche ihn erwärmen; wenn demnach ein Körper durch Wärmestrahlung möglichst stark erwärmt werden soll, so muss man ihn mit einem Ueberzuge versehen, welcher die Wärmestrahlen stark absorbirt; man überzieht deshalb auch alle Thermoskope, welche dazu dienen sollen, die Wirkungen der Wärmestrahlen recht deutlich zu machen, die Kugeln der Differentialthermometer, die beiden Enden der thermoelektrischen Säule u. s. w. mit Russ, weil dieser unter allen bekannten Körpern das stärkste Absorptionsvermögen hat.

Wir haben oben gesehen, dass metallische Oberflächen nur ein sehr geringes Emissionsvermögen besitzen, und daraus folgt, dass sie die Wärmestrahlen auch nur in einem sehr geringen Maasse zu absorbiren im Stande sind.

Weiter unten, wenn wir die ungleiche Natur der verschiedenen Wärmestrahlen werden kennen gelernt haben, wird von dem Absorptionsvermögen noch ausführlicher die Rede sein.

Was die Zurückwerfung der Wärmestrahlen an die Oberfläche der Körper betrifft, so werden sie wie die Lichtstrahlen entweder regelmässig reflectirt oder unregelmässig zerstreut, diffundirt.

Die Reflexion der Wärmestrahlen findet ganz nach denselben Gesetzen statt, wie die der Lichtstrahlen, d. h. der Reflexionswinkel ist dem Einfallswinkel gleich; dies geht schon aus den Versuchen mit den Hohlspiegeln hervor, da ja die Brennpunkte für die Wärmestrahlen mit denen der Lichtstrahlen zusammenfallen.

So wie an der Oberfläche eines nicht ganz vollständig polirten Körpers Lichtstrahlen nach allen Seiten unregelmässig zerstreut werden, so erleiden auch die Wärmestrahlen an der Oberfläche der meisten Körper eine Diffusion. Man kann sich davon durch folgenden Versuch überzeugen. Man lasse durch eine Oeffnung in dem Laden eines dunkeln Zimmers Sonnenstrahlen auf eine der Oeffnung gegenüberliegende Wand fallen, so wird der erleuchtete Fleck derselben, welcher von allen Seiten her sichtbar ist, weil er das Sonnenlicht nach allen Seiten hin zerstreut, auch die Wärmestrahlen unregelmässig zerstreuen, also nach allen Seiten hin Wärmestrahlen aussenden, als ob er selbst eine Wärmequelle wäre. Diese Diffusion der Wärmestrahlen wird sichtbar, wenn man dem hellen Flecke die thermo-elektrische Säule zukehrt; man erhält einen Ausschlag der Nadel, welchen Winkel die Axe der gegen den diffundirenden

Fleck gerichteten Thermosäule auch mit der Ebene der diffundirenden Wand machen mag; die Wirkung kann also nicht von einer regelmässigen Reflexion herrühren; dass sie aber auch nicht die Folge einer Erwärmung der von den Sonnenstrahlen beschienenen Stelle der Wand ist, geht daraus hervor, dass die Nadel auf der Stelle wieder auf den Nullpunkt der Theilung zurückgeht, sobald man die Oeffnung im Laden verschliesst.

Auch von der Diffusion der Wärmestrahlen wird weiter unten noch ausführlicher die Rede sein.

Fähigkeit der Körper, Wärmestrahlen durchzulassen. 261
Dass feste Körper Wärmestrahlen in derselben Weise durchlassen können, wie durchsichtige Körper die Lichtstrahlen, geht schon daraus hervor, dass man im Stande ist, brennbare Körper zu entzünden, wenn man sie in den Brennpunkt einer den Sonnenstrahlen ausgesetzten Linse hält. Genauere Untersuchungen wurden erst durch die thermo-elektrische Säule möglich, und Melloni hat mit Hülfe derselben eine Reihe höchst wichtiger Untersuchungen über den Durchgang der Wärmestrahlen durch verschiedene Körper angestellt.

Diejenigen Körper, welche die Wärmestrahlen aufhalten, wie die undurchsichtigen Körper die Lichtstrahlen, nennt Melloni atherman; solche Körper hingegen, welche sich gegen die Wärmestrahlen verhalten, wie die durchsichtigen Körper gegen die Lichtstrahlen, nennt er diatherman. Die Luft ist also ein diathermaner Körper, und wir werden sogleich sehen, dass auch sehr viele feste und flüssige Körper, wenn auch in sehr ungleichem Maasse, diatherman sind.

Die Versuche über den Durchgang der Wärmestrahlen wurden mit dem schon oben beschriebenen Apparate, Fig. 701 (a. f. S.), angestellt, welcher in der Figur gerade so abgebildet ist, wie er zu diesen Versuchen zusammengestellt werden muss; als Wärmequellen dienten entweder die Locatelli'sche Lampe *L*, oder eine Spirale von Platindraht, welche durch eine Alkoholflamme rothglühend erhalten wurde, oder ein geschwärztes, in Fig. 702 von der Rückseite gezeichnetes Kupferblech, dessen Temperatur durch eine Weingeistlampe auf ungefähr 400° erhöht wird, oder endlich der schon besprochene mit heissem Wasser gefüllte Hohlwürfel *H* Fig. 700. Diese constanten Wärmequellen wurden der Reihe nach auf die Schiene, *df* Fig. 701 gesetzt. Zwischen der Wärmequelle und der Thermosäule wurde dann zunächst ein Schirm *s* mit einer Oeffnung angebracht, welche nur ein begränztes Strahlenbündel auf die Thermosäule fallen lässt, und hinter dieser Oeffnung dann eine Platte *r* von der zu untersuchenden Substanz aufgestellt.

Die Versuche wurden in folgender Weise angestellt: Die Wärmequelle wurde in eine solche Entfernung gebracht, dass sie ohne Zwischenplatte eine Ablenkung der Nadel bis auf 30° hervorbrachte; wurden nun die Wärmestrahlen durch eine bei *r* aufgestellte Platte des zu untersuchenden Köpers aufgefangen, so ging die Nadel bald mehr, bald weni-

ger zurück, und so ergab sich, dass gleich dicke und gleich durchsichtige Platten verschiedener Körper nicht gleiche Mengen strahlender Wärme durchlassen. Bewirkt z. B. die freie Strahlung der Wärmequelle eine

Fig. 701.

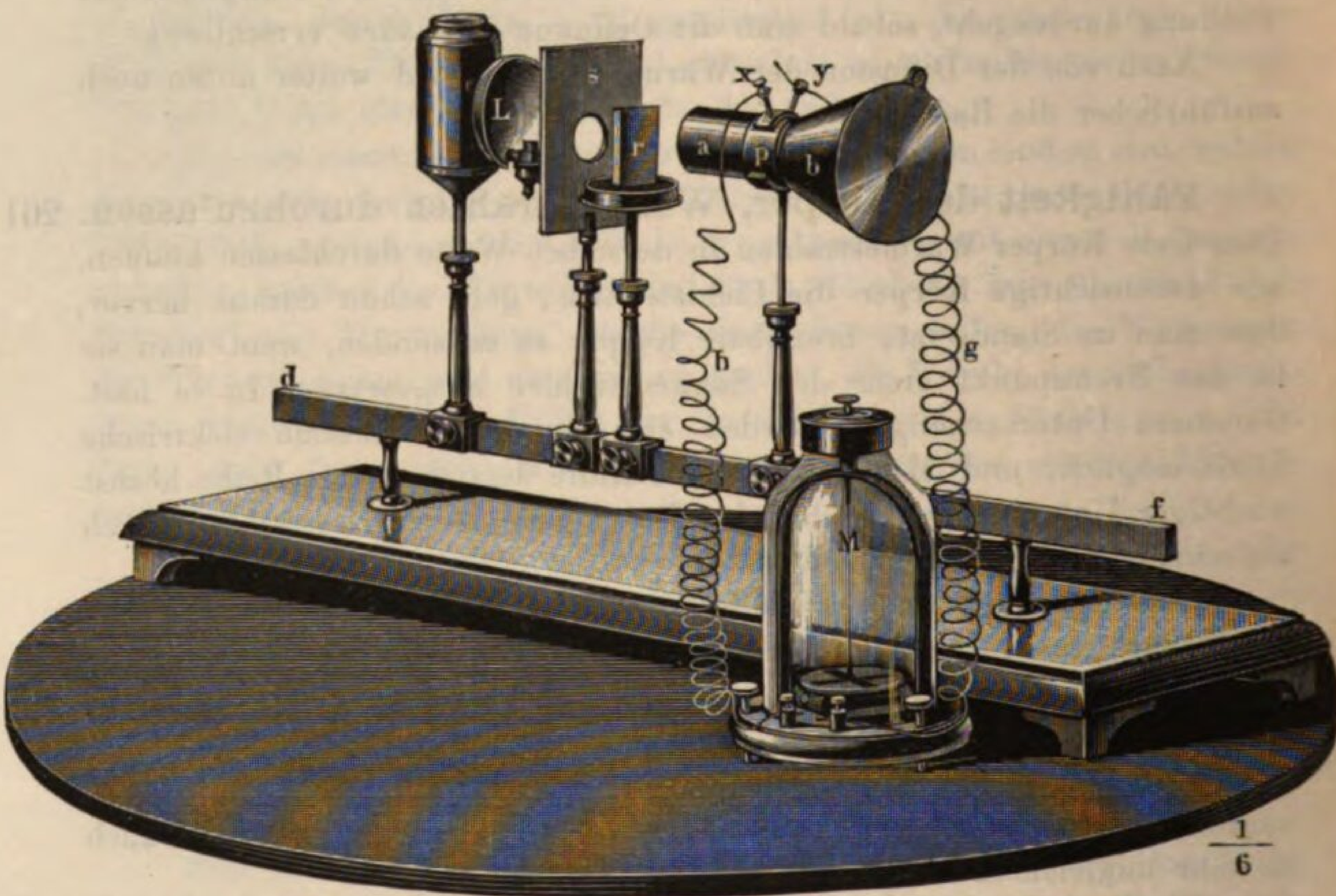
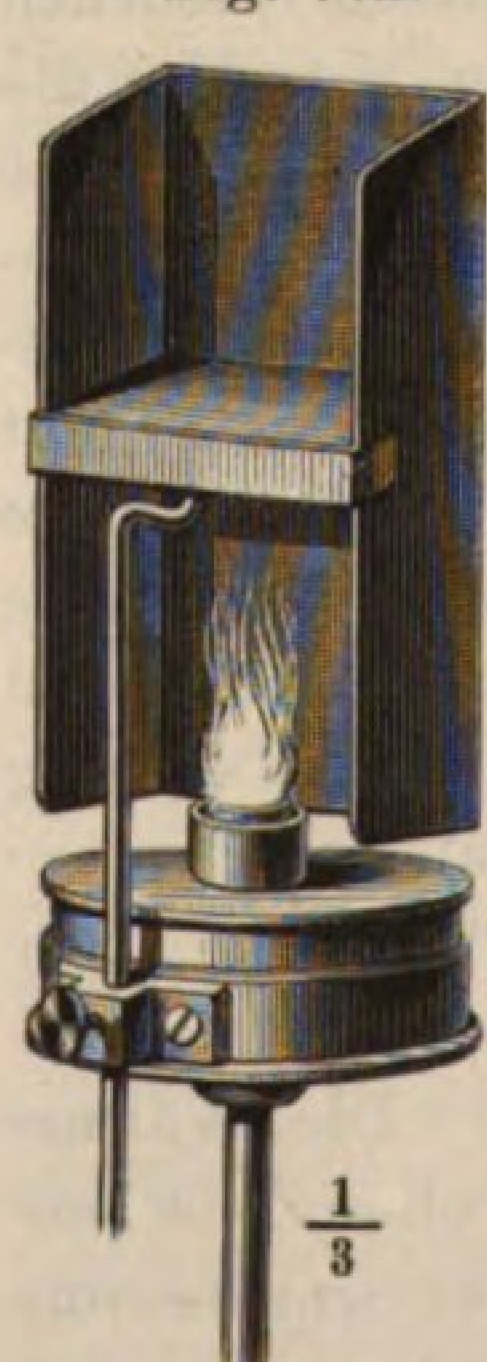


Fig. 702.



Ablenkung von 30°, so wird die Nadel auf 28° zurückgehen, wenn man eine 3 bis 4 Millimeter dicke **Steinsalzplatte** bei *r* aufstellt, während eine gleich dicke **Quarzplatte** die Nadel auf 15° bis 16° zurückgehen macht; das **Steinsalz** lässt also die Wärmestrahlen bei weitem besser durch als der Bergkrystall. Manche weniger durchsichtige Körper lassen sogar die Wärmestrahlen besser durch als andere, die ganz durchsichtig sind. Während z. B. eine ganz durchsichtige Alaunplatte die Ablenkung der Nadel von 30° auf 3° bis 4° reducirt, bringt eine noch weit dickere Platte von Rauchtopas die Nadel nur auf 14° bis 15° zurück. Ja manche fast ganz undurchsichtige Körper, wie schwarzes Glas und schwarzer Glimmer, lassen noch ziemlich viel Wärmestrahlen durch.

Aus den beobachteten Ablenkungen ergeben sich folgende Werthe für die Fähigkeit verschiedener Körper, die Wärmestrahlen durchzulassen.

Namen der Körper.	Locatelli'sche Lampe.	Glühende Platinspirale.	Geschwärztes bis zu 400° erwärmtes Messingblech.	Geschwärztes bis zu 100° erwärmtes Messingblech.
Freie Strahlung der Wärmequelle .	100	100	100	100
Steinsalz	92	92	92	92
Flussspath, klar, farblos	78	69	42	33
Kalkspath	39	28	6	0
Spiegelglas	39	24	6	0
Bergkrystall	38	28	6	0
Gyps, krystallisirt	14	5	0	0
Citronensäure	11	2	0	0
Alaun	9	2	0	0
Schwarzes Glas, 1mm dick	26	25	12	0
Schwarzer Glimmer, 0,9mm dick . .	20	20	9	0
Eis	6	0	0	0

Wo die Dicke der Platte nicht bemerkt ist, betrug sie 2,6 Millimeter.

Die Betrachtung dieser Tabelle führt uns zu sehr wichtigen Folgerungen; wir sehen, dass das Steinsalz die Strahlen aller Wärmequellen mit gleicher Leichtigkeit durchlässt, was bei allen anderen angeführten Substanzen nicht der Fall ist. Wir sehen z. B., dass eine Flussspathplatte 78 Procent der Strahlen durchlässt, welche von der Locatelli'schen Lampe kommen, aber nur 33 Procent der Wärmestrahlen, welche von einer berussten, bis zu 100° erwärmten Metallfläche ausgestrahlt werden. Das schwarze Glas lässt die Wärmestrahlen der Locatelli'schen Lampe und der glühenden Platinspirale fast gleich gut durch, von der ersten Quelle nämlich 26, von der zweiten 25 Procent; es lässt gar keine der Wärmestrahlen durch, welche von der vierten, und nur 12 Procent der Strahlen, welche von der dritten Wärmequelle kommen.

Aus diesen Versuchen geht nun klar hervor, dass die Wärmestrahlen, welche von den verschiedenen Wärmequellen kommen, nicht gleicher Natur sind; denn sonst müsste jeder Körper die Strahlen aller Wärmequellen in gleichem Verhältnisse durchlassen. Auf den ersten Blick könnte es scheinen, als ob die Fähigkeit der Körper, die Wärmestrahlen durchzulassen, von der Temperatur der Wärmequellen abhängig sei. Nach Knoblauch's Versuchen (Pogg. Annal. LXX) ist dies jedoch entschieden nicht der Fall. Von den Wärmestrahlen, welche von der berussten Fläche eines Leslie'schen Würfels ausgingen, liess stets

eine Glasplatte	0,3
eine Gypsplatte. . . .	0,25
eine Alaunplatte . . .	0,1

durch, obgleich die Temperatur des Würfels zwischen 20° und 100° variirte. Dagegen fand Knoblauch, dass die durchgelassene Wärmemenge sofort zunahm, wenn die Wärmequelle leuchtend wurde. So liessen z. B. die oben erwähnten Substanzen die Wärmestrahlen einer Argand'schen Oellampe verhältnissmässig besser durch, als die einer Wasserstoffflamme, obgleich letztere eine weit höhere Temperatur hatte. Wir werden weiter unten sehen, worin die Unterschiede der von verschiedenen Quellen ausgehenden Wärmestrahlen bestehen.

Wenn man mit 100 die Intensität der Wärmestrahlen bezeichnet, welche auf eine Steinsalzplatte fallen, so ist die Intensität der durchgelassenen Strahlen nach unserer Tabelle 92, oder genauer 92,3, der Rest der auffallenden Strahlen, welcher nicht durch die Platte hindurchgeht, ist 7,8 oder ungefähr $^1/_{13}$ der einfallenden Strahlen; dieser Rest kann nun entweder absorbirt oder an den beiden Oberflächen der Steinsalzplatte rechtwinklig reflectirt worden sein; in der That findet nur das Letztere, d. h. im Steinsalz findet gar keine merkliche Absorption der Wärmestrahlen statt. Zu diesem Schlusse ist man schon dadurch berechtigt, dass die Dicke einer Steinsalzplatte gar keinen Einfluss auf die Quantität der durchgelassenen Wärmestrahlen ausübt; eine Steinsalzplatte von 1 Millimeter Dicke lässt die Wärmestrahlen nicht besser durch, als eine andere, welche mehrere Centimeter dick ist.

Dieser Schluss wird durch folgende Versuche zur Gewissheit.

Bringt man einmal eine 8 Millimeter dicke Glasplatte, dann aber sechs Glasplatten von derselben Glassorte in den Apparat, welche zusammen 8 Millimeter dick sind, so verhält sich die Menge der Wärmestrahlen, welche die eine Platte durchlässt, zu der, welche durch die sechs Platten geht, wie 23 zu 15. In beiden Fällen ist der Verlust durch Absorption ganz derselbe; wenn also das System von sechs Platten weniger Wärmestrahlen durchlässt, so kann dies nur eine Folge der mehrfachen Reflexionen sein. Weil die Absorption in der einen dicken Platte dieselbe Wirkung ausübt, wie in sechs dünnen, so kann man sie ganz unberücksichtigt lassen, man kann annehmen, sie sei gleich Null, oder auch, es wären nur Strahlen von einer solchen Wärmefärbung eingefallen, dass sie gar nicht vom Glase absorbirt werden; bezeichnen wir unter dieser Voraussetzung mit 1 die Intensität der einfallenden Strahlen, mit r den durch die Reflexion an den beiden Oberflächen hervorgebrachten Verlust, so ist die Intensität der Wärmestrahlen, welche durch eine Platte durchgehen, $1 - r$; die Intensität der Wärmestrahlen, welche die sechs Platten durchlaufen haben, wird demnach $(1 - r)^6$ sein. Die Wärmemenge, welche durch eine Platte hindurchgeht, verhält sich demnach zu der, welche die sechs Platten durchlassen, wie $1 - r$ zu $(1 - r)^6$ oder

wie 1 zu $(1 - r)^5$. Nach dem Versuche verhalten sich aber diese Wärmemengen wie 23 zu 15, wir haben also

$$23 : 15 = 1 : (1 - r)^5,$$

und daraus folgt $(1 - r)^5 = 0{,}65217\ldots$, also $1 - r = 0{,}918$ und $r = 1 - 0{,}918 = 0{,}082$. Aus diesem Versuche ergiebt sich also für den Verlust durch Spiegelung an den beiden Flächen einer Glasplatte 8,2 Procent, also sehr nahe gleich dem entsprechenden Werthe für Steinsalz. Man kann daraus folgende Schlüsse ziehen: 1. das Steinsalz lässt die Wärmestrahlen ohne merkliche Absorption durch; 2. die rechtwinklige Reflexion an der ersten und zweiten Oberfläche einer Platte von Steinsalz, Glas oder Quarz beträgt nur $^1/_{13}$ der einfallenden Wärmestrahlen.

Die Metalle gelten im Allgemeinen als atherman. Knoblauch hat aber gezeigt, dass ganz dünne Schichten von Gold, Silber und Platin, welche bekanntlich Lichtstrahlen von bestimmter Farbe durchlassen, auch Wärmestrahlen den Durchgang gestatten, dass also auch wenigstens diese Metalle, wenn auch nur in geringem Grade diatherman sind (Pogg. Annal. Bd. CI).

Einfluss der Dicke diathermaner Platten auf die Durchlassung der Wärmestrahlen. 262 Wir haben gesehen, dass das Steinsalz keine merkliche Absorption auf die Wärmestrahlen ausübt, wenigstens wenn die Platten nur 3 bis 4 Centimeter dick sind; das Steinsalz ist aber auch unter allen festen und flüssigen Körpern der einzige vollkommen diathermane; alle anderen absorbiren mehr oder weniger Wärmestrahlen. Die Grösse der Absorption hängt aber nicht allein von der Natur der Wärmequelle, sondern auch von der Dicke der Platte ab.

Die Tabelle a. f. S. enthält die Resultate, welche in dieser Hinsicht für Glas, durchsichtigen Bergkrystall, Rauchtopas, Rüböl und destillirtes Wasser beobachtet wurden.

Nicht alle Zahlen dieser Tabelle sind das unmittelbare Resultat des Versuchs, weil es nicht immer möglich war, Platten zu erhalten, welche genau $^1/_2$, $^2/_2$, $^3/_2$ u. s. w. Millimeter dick waren; die Zahlen, welche diesen Dicken entsprechen, wurden durch Interpolarisation aus den benachbarten beobachteten Werthen abgeleitet.

Das Rüböl wurde, um es dem Versuche zu unterwerfen, in ein Behälter gegossen, welches auf beiden Seiten mit Steinsalzplatten begränzt war. Wenn die Dicke der Oelschicht mehr als 3 Millimeter betrug, so war es gleichgültig, ob sie zwischen Glasplatten oder zwischen Steinsalzplatten eingeschlossen war.

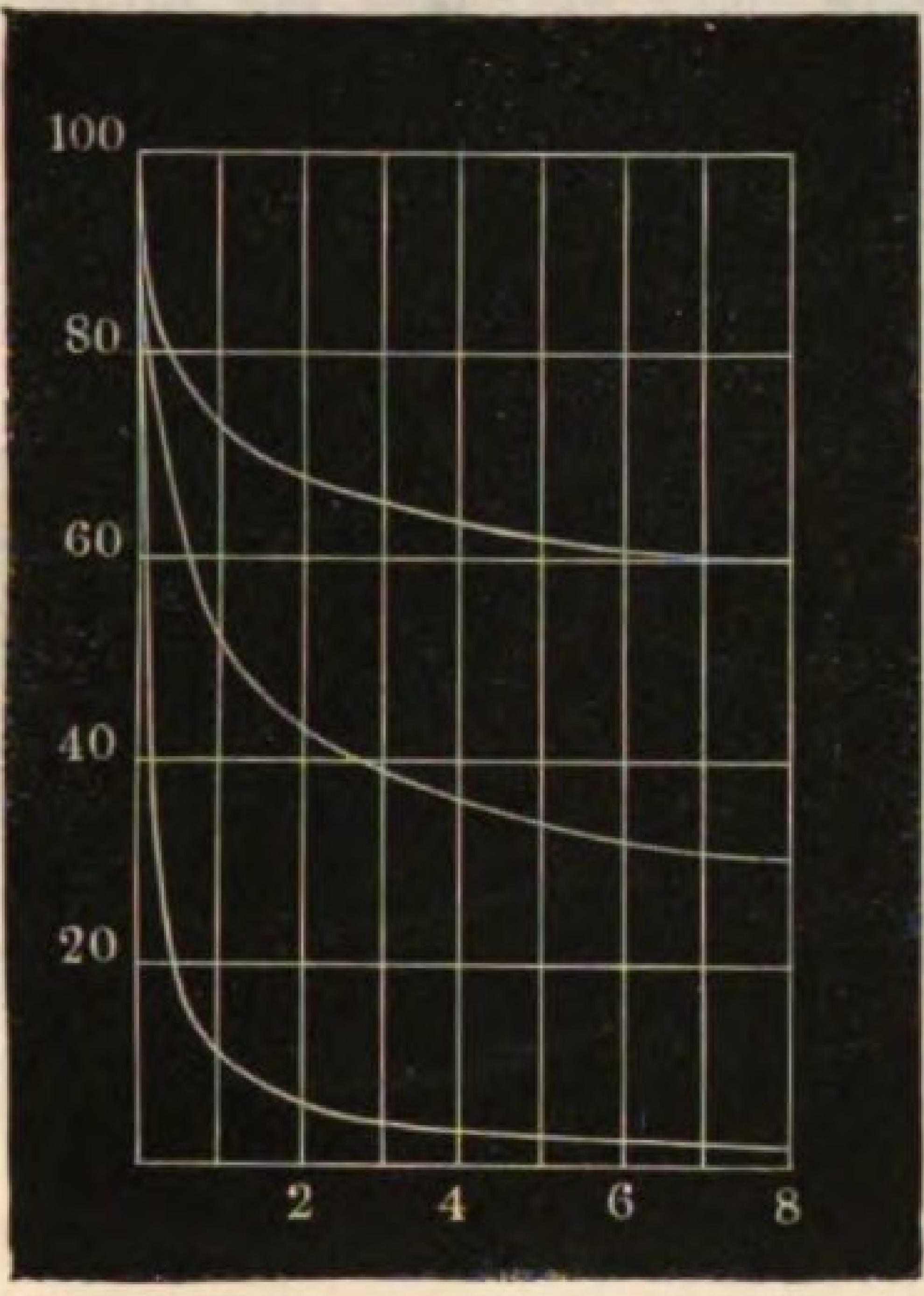
Nachdem ermittelt worden war, dass reines Wasser ebenso wirkt wie Salzwasser, war es leicht zu erkennen, dass eine Wasserschicht denselben Effect hervorbringt, mag sie nun zwischen Glasplatten oder zwischen Steinsalzplatten eingeschlossen sein.

Dicke in Millimetern.	Glas von St. Gobin.			Durchsichtiger Bergkrystall.			Rauchtopas.			Rüböl.		Destillirtes Wasser.	
	Locatelli'sche Lampe.	Glühendes Platin.	Kupfer von 400°.	Locatelli'sche Lampe.	Glühendes Platin.	Kupfer von 400°.	Locatelli'sche Lampe.	Glühendes Platin.	Kupfer von 400°.	Locatelli'sche Lampe.	Glühendes Platin.	Locatelli'sche Lampe.	Glühendes Platin.
0,5	77,5	62,1	14,4	78,6	69,5	14,8	81,7	70,0	15,4	64,0	32,0	25,1	8,7
1,0	73,3	51,5	9,9	76,8	65,1	11,3	78,6	65,0	12,3	48,3	22,8	19,3	5,7
1,5	70,4	46,1	6,7	74,8	62,5	9,7	"	"	"	41,0	18,7	16,0	4,2
2,0	68,2	42,8	5,0	73,3	60,6	8,7	75,1	60,3	9,1	36,1	16,3	13,9	3,2
3	65,3	38,3	2,9	71,8	57,6	7,3	73,1	57,4	7,8	30,6	13,6	11,4	2,0
4	63,4	35,8	2,0	70,8	55,3	6,6	71,4	54,8	7,0	27,8	12,0	10,0	1,5
5	62,0	34,0	1,5	70,2	53,3	6,0	"	"	"	25,7	10,8	9,1	1,1
6	60,9	32,3	1,4	69,8	51,4	5,3	"	"	"	23,9	9,8	8,6	1,0
7	60,0	30,9	1,2	69,5	49,8	5,0	"	"	"	22,6	8,9	8,2	0,8
8	59,2	29,7	1,1	69,3	48,4	4,6	"	"	"	21,8	8,1	8,0	0,6
9	"	"	"	"	"	"	"	"	"	21,2	7,5	7,8	0,5
10	"	"	"	"	"	"	"	"	"	21,0	7,1	7,7	0,4
11	"	"	"	"	"	"	"	"	"	20,9	6,7	7,7	0,3
50	"	"	"	"	"	"	"	"	"	12,5	2,1	2,4	0,0
86	"	"	"	"	"	"	59,0	35,0	0,7	"	"	"	"
100	"	"	"	"	"	"	"	"	"	8,1	1,2	1,3	0,0
150	"	"	"	"	"	"	"	"	"	6,1	"	0,7	0,0
200	"	"	"	"	"	"	"	"	"	5,3	"	"	"

Man sieht, dass für die fünf Körper die Absorption bei einer Dicke von $1/2$ Millimeter schon sehr beträchtlich und dass sie am bedeutendsten ist für die Strahlen dunkler, am unbedeutendsten aber für die Strahlen der zugleich am hellsten leuchtenden Wärmequellen.

Die Absorption nimmt bei zunehmender Dicke anfangs rasch zu, sie scheint sich aber einer bestimmten Gränze zu nähern, denn für eine bedeutende Dicke hat eine Vermehrung derselben keinen merklichen Einfluss mehr. Es lässt sich dies am besten durch eine graphische Darstellung der in unserer Tabelle zusammengestellten Resultate übersehen. In Fig. 703 sind die Abscissen der Dicke der Platten, die Ordinaten der Intensität der Wärmestrahlen proportional, welche eine Glasplatte der entsprechenden Dicke durchlässt. Die oberste Curve entspricht dem Falle, dass die einfallenden Strahlen von der Locatelli'schen Lampe kommen, die zweite gilt für das glühende Platin, die dritte für das auf 400^0 erwärmte Kupferblech.

Fig. 703.



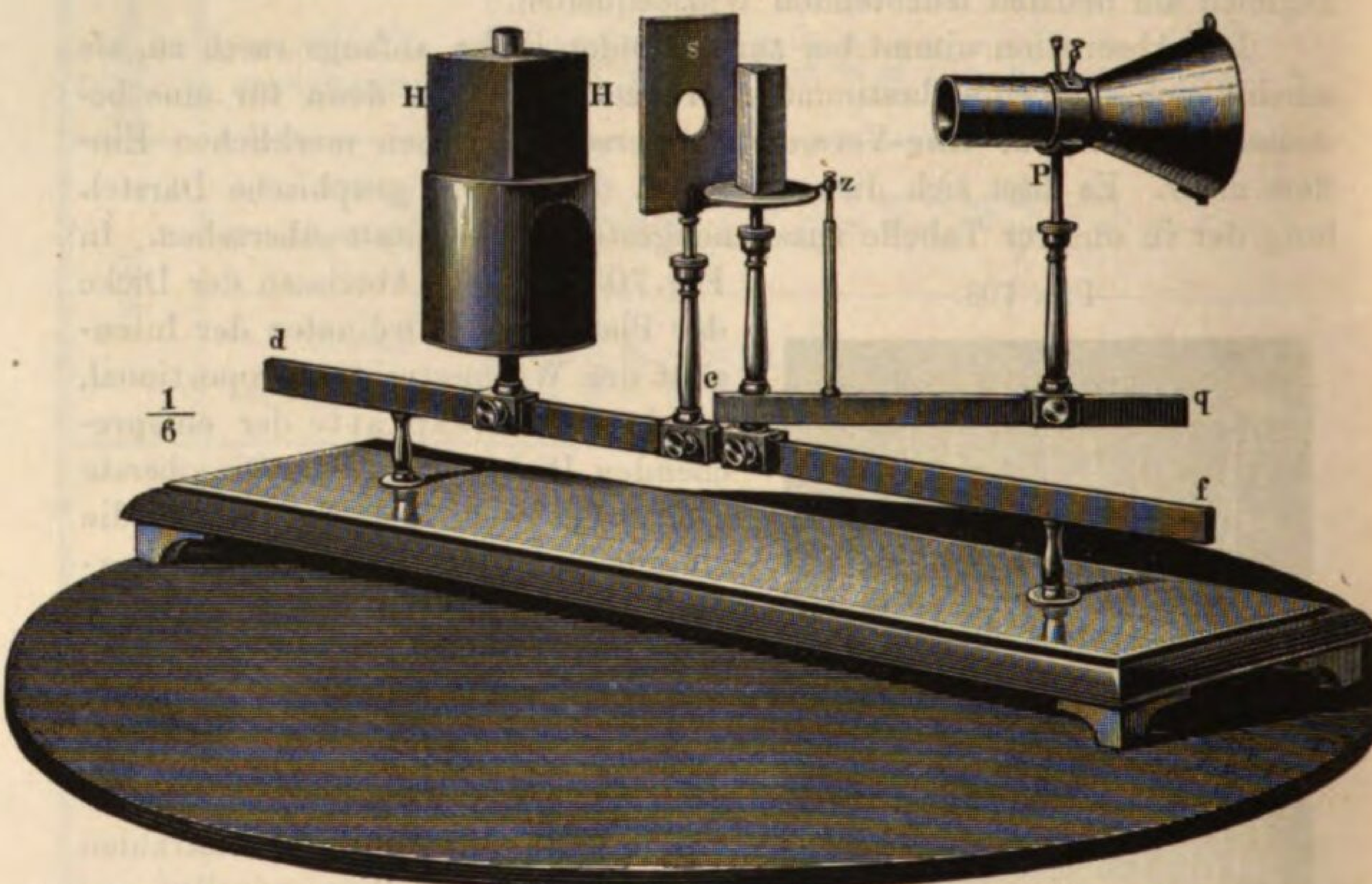
Wir sehen aus dieser Zusammenstellung auch, dass die Wärmestrahlen der verschiedenen Wärmequellen aus sehr verschieden absorbirbaren Elementen bestehen; um die Strahlen der einen Quelle fast vollständig zu absorbiren, ist nur eine sehr geringe Dicke nöthig, während andere Strahlen selbst bei einer sehr bedeutenden Dicke der Absorption widerstehen. Die Wärmequellen von niedriger Temperatur enthalten im Allgemeinen eine grössere Anzahl absorbirbarer Bestandtheile wenigstens für die in unserer Tabelle enthaltenen Substanzen.

Brechung der Wärmestrahlen. Fig. 704 (a. f. S.) stellt den Melloni'schen Apparat dar, wie er eingerichtet ist, um die Brechung der Wärmestrahlen nachzuweisen, nur muss man statt des Wasserwürfels H die Locatelli'sche Lampe anwenden. Das durch die Oeffnung des Schirmes s hindurchgegangene Licht- und Wärmestrahlenbündel wird durch ein Steinsalzprisma aufgefangen, welches so gestellt wird, dass die von der Locatelli'schen Lampe auf dasselbe fallenden Lichtstrahlen das Minimum der Ablenkung im Prisma erleiden. 263

Um den Fuss des Trägers, auf welchem das Prisma steht, ist die Schiene cq drehbar, welche die Thermosäule P trägt, und diese Schiene wird so gestellt, dass die Thermosäule in die Richtung der aus dem Prisma austretenden Lichtstrahlen kommt. Der Umfang der Scheibe, auf welcher das Prisma steht, ist mit einer Theilung versehen, auf welcher

man mittelst des Zeigers z, der sich mit der Schiene cq bewegt, den Winkel ablesen kann, welchen die Schiene cq, also auch die aus dem Prisma

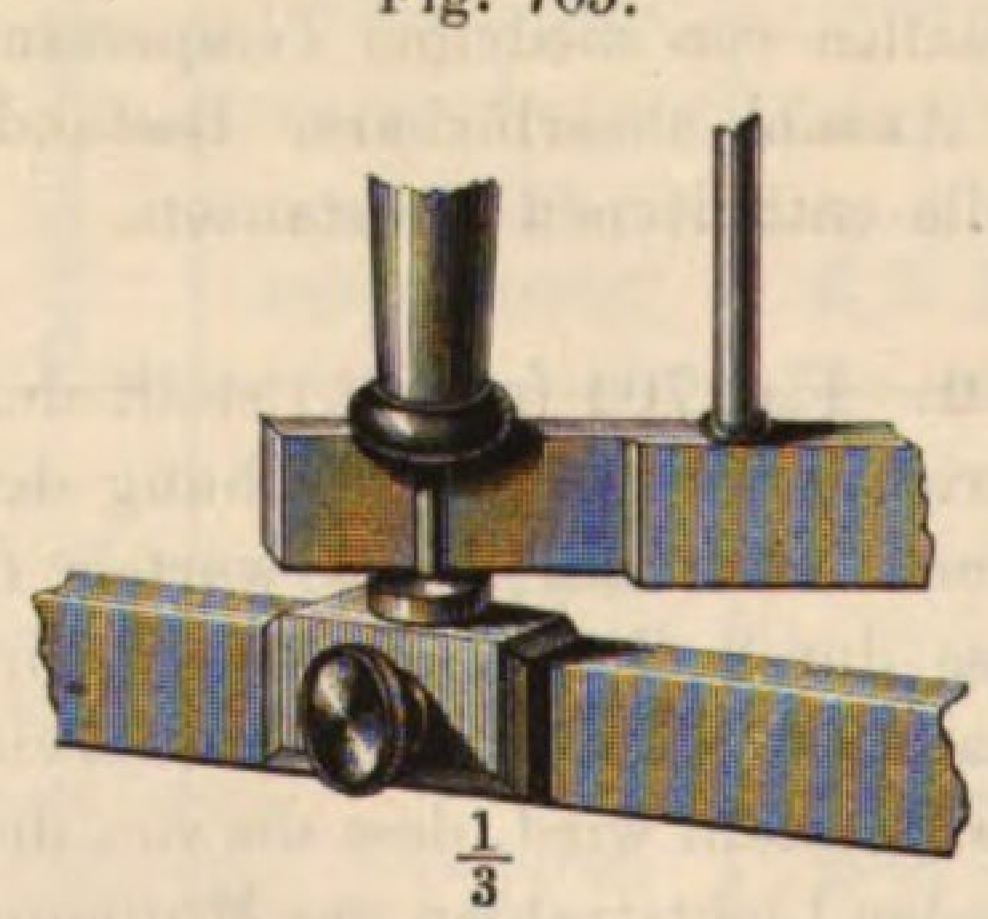
Fig. 704.



austretenden Strahlen mit der Hauptschiene df oder mit der Richtung der einfallenden Strahlen machen.

Aus Fig. 705 sieht man, wie die Drehung der Schiene cq möglich gemacht ist.

Fig. 705.



Sobald nun die Thermosäule in die eben bezeichnete Stellung gebracht ist, wird die Nadel des mit ihr verbundenen Multiplicators abgelenkt; sie kehrt aber sogleich wieder in ihre Gleichgewichtslage zurück, wenn man die von der Lampe auf das Prisma fallenden Strahlen durch einen zwischengehaltenen Schirm auffängt.

Dieser Versuch beweist nun unzweifelhaft, dass die Wärmestrahlen in gleicher Weise gebrochen werden wie die Lichtstrahlen. Der eben beschriebene Versuch gelingt auch noch, wenn man statt der Locatelli'schen Lampe die glühende Platinspirale oder das bis auf 400⁰ erhitzte Kupferblech, ja selbst den mit kochendem Wasser gefüllten Würfel anwendet, wenn nur die Thermosäule und der Multiplicator empfindlich genug sind.

Die Ablenkung der Nadel hört gleichfalls auf, wenn man die Schiene *cq* so weit dreht, dass die Thermosäule nicht mehr von den vom Prisma herkommenden Strahlen getroffen wird.

Die eben besprochenen Versuche sind nun zwar ganz geeignet, um die Brechbarkeit der Wärmestrahlen überhaupt nachzuweisen, behufs einer eingehenderen Untersuchung dürfte jedoch wohl die Sonne die geeignetste Wärmequelle sein.

Das Wärmespectrum. Schon frühere Versuche über die Vertheilung der Wärme im Sonnenspectrum hatten dargethan, dass die Erwärmung am violetten Ende sehr unbedeutend ist und dass sie gegen das rothe Ende des Spectrums hin wächst; Seebeck aber wies nach (Schweigger's Journal 1824, Bd. XL, S. 129), dass in dem Spectrum eines Flintglasprismas das Maximum der Erwärmung noch über das rothe Ende des Spectrums hinausfalle. 264

So haben wir denn gesehen, dass das sichtbare Spectrum noch auf beiden Seiten von Strahlen begleitet ist, welche, wenn auch nicht auf das Auge, doch auf andere Agentien zu wirken im Stande sind. Die Strahlen, welche schneller vibriren als die violetten, bringen noch chemische, solche Strahlen, welche langsamer vibriren als die rothen, bringen noch calorische Wirkungen hervor.

Diese Erfahrungen weisen aber darauf hin, dass das ungleiche Verhalten der von verschiedenen Quellen stammenden Wärmestrahlen einer ungleichen Brechbarkeit zuzuschreiben sei, dass es unter den Wärmestrahlen Unterschiede giebt, welche der Verschiedenheit der Farbe ganz analog sind.

Uebereinstimmend mit der physikalischen Erfahrung, dass die weniger brechbaren Strahlen des sichtbaren Spectrums diejenigen sind, welche am kräftigsten zu erwärmen vermögen, bezeichnen die Maler, geleitet durch ein richtiges Gefühl, von dem sie sich wohl schwerlich Rechenschaft geben können, die blauen Farbentöne als kalte, die rothen und gelbrothen als warme.

In dem Spectrum eines Steinsalzprismas fand Melloni das thermische Maximum an einer Stelle, welche ebenso weit jenseits der rothen Gränze des sichtbaren Spectrums liegt, wie diese rothe Gränze von der Stelle des Uebergangs von Blau in Grün.

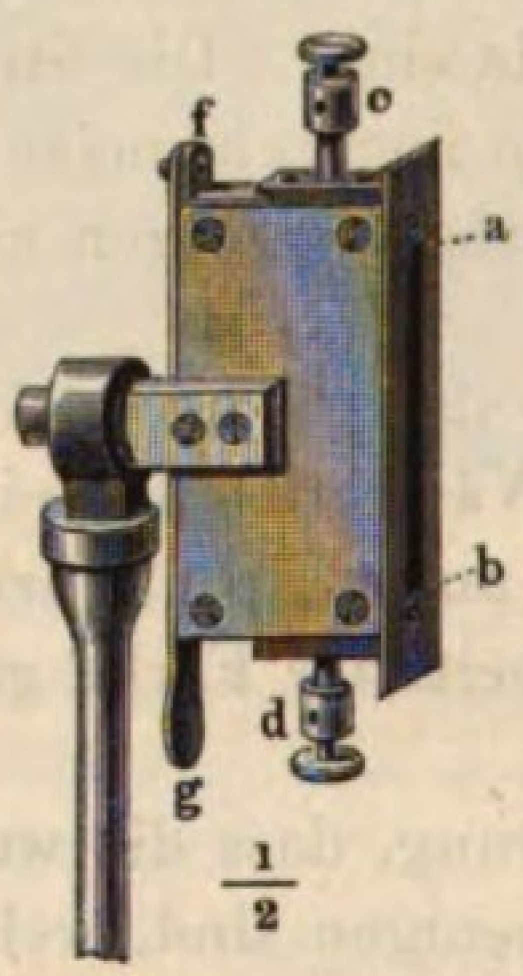
Franz war der Erste, welcher Grössenangaben über die Wärme verschiedener Stellen des Spectrums mitgetheilt hat, die mit Hülfe der Thermosäule und des Multiplicators erhalten worden waren (Pogg. Annal. Bd. CI). Er fand, dass in einem Spectrum, welches rein genug ist, um die Fraunhofer'schen Linien zu zeigen, die thermischen Effecte so gering sind, dass an brauchbare Messungen derselben nicht zu denken ist.

Franz hat das Wärmespectrum eines Flintglasprismas, und ich selbst (Pogg. Annal. Bd. CV) habe die Vertheilung der Wärme im Spectrum eines Prismas von Crownglas und eines solchen von Steinsalz unter-

sucht. Die von dem Spiegel eines **Silbermann**'schen **Heliostats** in horizontaler Richtung reflectirten Sonnenstrahlen wurden durch einen verticalen Spalt von 3^{mm} Breite in das dunkle Zimmer eingelassen. Ungefähr 1 Decimeter von diesem Spalt wurde ein Schirm von Messingblech angebracht, welcher gleichfalls mit einem 3^{mm} breiten Spalt versehen war und unmittelbar hinter diesem zweiten Spalt das Prisma (dessen brechender Winkel 60^0 betrug) aufgestellt.

Zur thermischen Prüfung des Spectrums wurde eine aus 15 Wismuth-Antimonpaaren gebildete **lineare Thermosäule**, Fig. 706 gebraucht, d. h. also eine Thermosäule, deren Elemente so zusammengesetzt sind, dass sie sämmtlich in einer Ebene, also die Löthstellen auf der einen Seite in gerader Linie untereinander liegen. Der Spalt ab, durch welchen die Strahlen auf die Vorderfläche der Thermosäule auffielen, war etwas über 2^{mm} breit.

Fig. 706.



Diese Thermosäule wurde nun den beiden Spalten parallel in einem solchen Abstand von dem Prisma aufgestellt, dass das sichtbare Spectrum daselbst (wie bei den Versuchen von **Franz**) eine Breite von 18^{mm} bekam. Sie war auf eine Messingschiene aufgesetzt, welche rechtwinklig stand zu der Richtung des aus dem Prisma austretenden Strahlenbündels. Diese Schiene, auf welcher die mit einem Multiplicator verbundene Thermosäule leicht verschoben und beliebig festgestellt werden konnte, war in Pariser Linien getheilt. In der folgenden Tabelle sind die Ablenkungen des Multiplicators zusammengestellt, welche erhalten wurden, wenn die Thermosäule an verschiedenen Stellen des Spectrums festgestellt wurde.

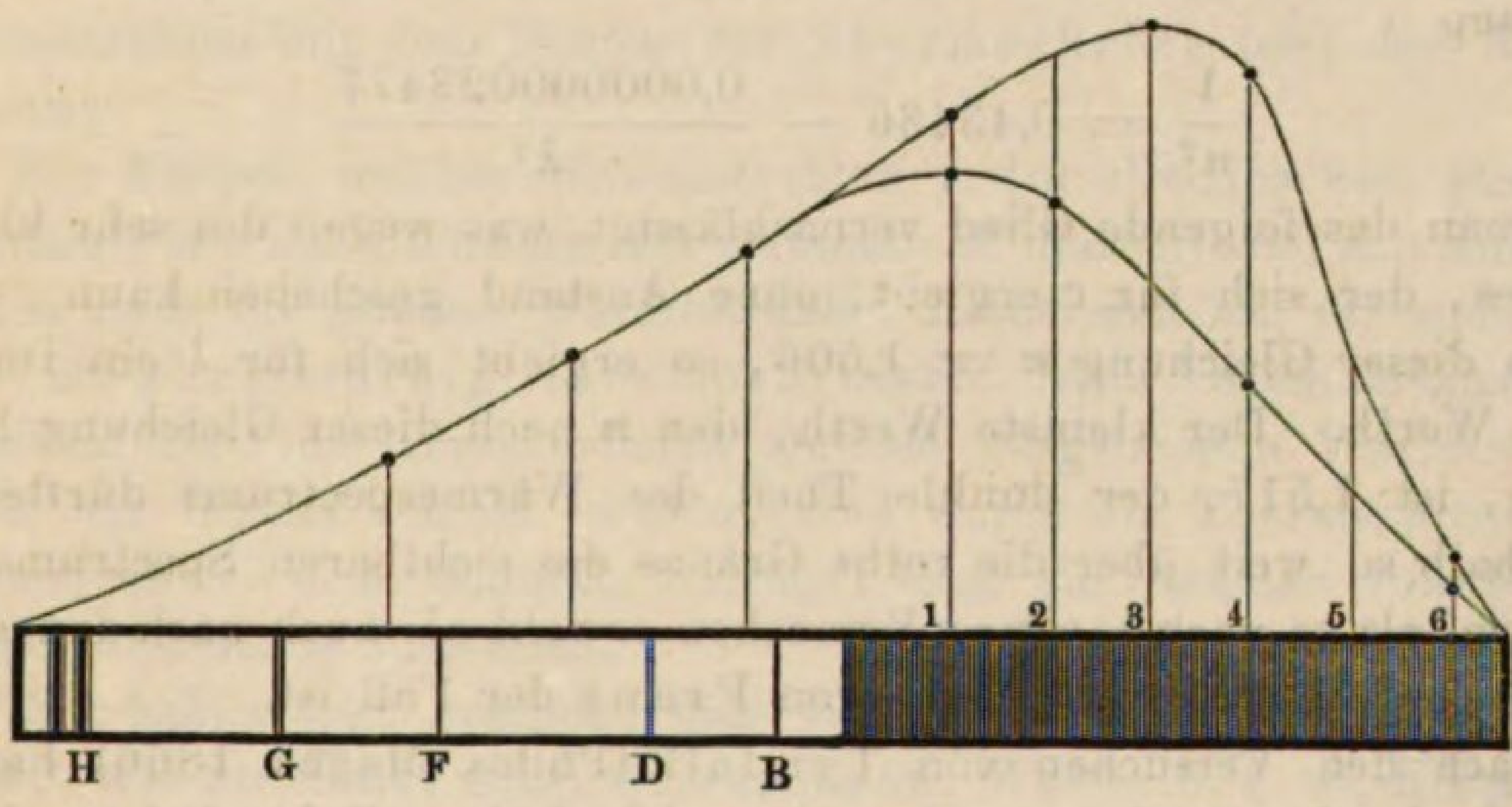
	Prisma von	
	Crownglas.	Steinsalz.
Gränze von Indigo und Violett	2^0	—
Mitten im Blau	4	$3{,}7^0$
Mitten im Gelb	7	7,9
Mitten im Roth	10	10
1‴ über die rothe Gränze hinaus	12	13,2
2‴ „ „ „ „ „	11	—
3‴ „ „ „ „ „	—	15,9
4‴ „ „ „ „ „	7	13,2
6‴ „ „ „ „ „	2	1,7

Nach diesen Zahlen sind die thermischen Intensitätscurven, Fig. 707, construirt worden, und zwar bezieht sich die obere Curve auf das Steinsalz-, die untere aber auf das Crownglasprisma. Der besseren Orientirung wegen sind in dem sichtbaren Theil des Spectrums die wesentlichsten Fraunhofer'schen Linien eingetragen.

Man übersieht aus Fig. 707, dass die thermische Verlängerung des Spectrums über das Roth hinaus noch einen Raum einnimmt, welcher nahezu ebenso lang ist, wie der sichtbare Theil des Spectrums selbst. Nahezu dasselbe Resultat hat auch Franz für das Flintglasprisma erhalten.

Die Fraunhofer'sche Linie *B* liegt also ungefähr in der Mitte zwischen *H* und den äussersten dunklen Wärmestrahlen. Da nun für

Fig. 707.



Crownglas die Brechungsexponenten von *H*, *F* und *B* 1,546, 1,536 und 1,526 sind, so ergiebt sich für den Brechungsexponenten der äussersten dunklen Wärmestrahlen des Sonnenspectrums ungefähr der Werth 1,506.

Dies Resultat macht es nun auch möglich, die Wellenlänge der äussersten dunklen Wärmestrahlen zu berechnen. Für Crownglas, dessen Brechungsexponenten der Fraunhofer'schen Linien *H*, *F* und *B* die eben angeführten Werthe haben, erhalten die constanten Factoren *a*, *b* und *c* der Redtenbacher'schen Gleichung auf S. 785 des I. Bandes solche Zahlenwerthe, dass sie in die Gleichung

$$\frac{1}{n^2} = 0{,}43464 + 2{,}68{,}2\,\lambda^2 - \frac{0{,}000000002555}{\lambda^2}$$

übergeht; setzt man in diese Gleichung den aus meinen Beobachtungen abgeleiteten Brechungsexponenten 1,506 der äussersten dunklen Wärmestrahlen, so ergiebt sich für die Wellenlänge derselben

$$\lambda = 0{,}0048^{\mathrm{mm}}.$$

Da die Wellenlänge der äussersten fluorescirenden (chemischen)

Strahlen 0,0003mm ist, so sind die Wellenlängen für die nächst niedrigeren Octaven dieser allerbrechbarsten Strahlen

0,0006mm
0,0012
0,0024
0,0048.

Das ganze Sonnenspectrum, von den äussersten chemischen bis zu den äussersten dunklen Wärmestrahlen umfasst demnach ungefähr vier ganze Octaven, von denen nicht ganz eine auf das sichtbare Spectrum kommt.

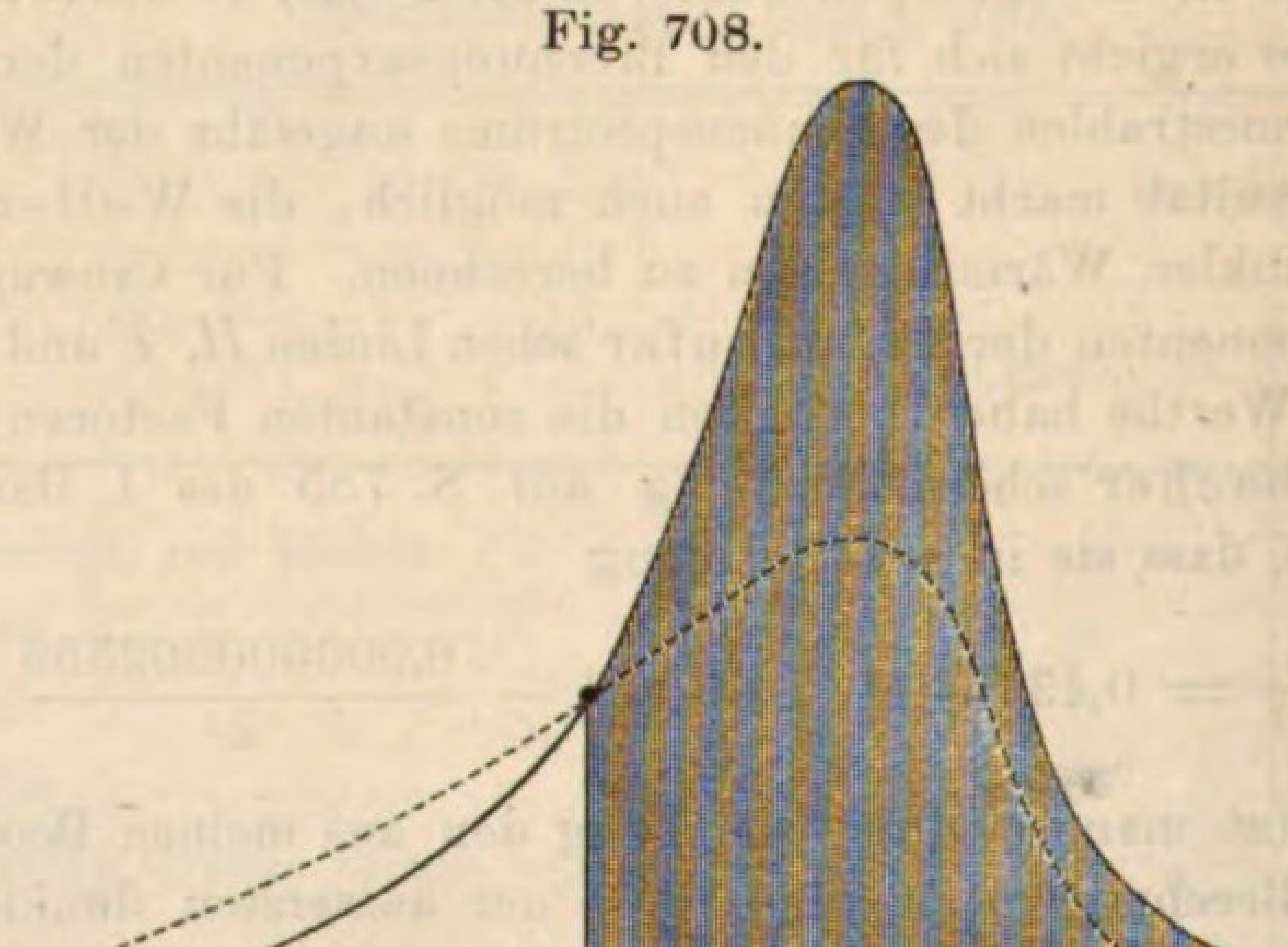
Mit der gleichfalls auf S. 784 des I. Bandes angeführten Cauchy'schen Formel stehen meine eben besprochenen Beobachtungsresultate in Widerspruch. Für die fragliche Crownglassorte wird nämlich jene Gleichung

$$\frac{1}{n^2} = 0{,}43436 - \frac{0{,}000000023477}{\lambda^2}$$

wenn man das folgende Glied vernachlässigt, was wegen des sehr kleinen Werthes, der sich für c ergiebt, ohne Anstand geschehen kann. Setzt man in dieser Gleichung $n = 1{,}506$, so ergiebt sich für λ ein imaginärer Werth. Der kleinste Werth, den n nach dieser Gleichung haben könnte, ist 1,517, der dunkle Theil des Wärmespectrums dürfte also kaum halb so weit über die rothe Gränze des sichtbaren Spectrums hinausgehen, als es nach meinen Versuchen sowohl als auch nach denen von Masson und Jamin und denen von Franz der Fall ist.

Nach den Versuchen von Tyndall (Philos. Magaz. 1866) hat die thermische Intensitätscurve des elektrischen Kohlenlichtes den in Fig. 708 durch die ausgezogene Linie dargestellten Verlauf, während die

Fig. 708.



punktirte Linie die thermische Intensitätscurve der Sonnenstrahlen darstellt. Man ersieht aus dieser Figur, dass das elektrische Licht im Ver-

hältniss zu den gleichzeitig leuchtenden Strahlen nicht allein weit mehr dunkle Wärmestrahlen enthält, sondern dass auch der dunkle Theil seines Wärmespectrums noch ausgedehnter ist als der des Sonnenspectrums. Damit ist freilich nicht gesagt, dass die Sonnenstrahlen ursprünglich schon weniger dunkle Wärmestrahlen enthalten, vielmehr ist es sehr wahrscheinlich, dass ein grosser Theil der von der Sonne kommenden dunklen Wärmestrahlen beim Durchgang durch die Atmosphäre absorbirt wird.

Thermochrose. Die im vorigen Paragraphen besprochenen That- 265
sachen beweisen, dass es Wärmestrahlen von sehr verschiedener Brechbarkeit giebt, dass also die Wärmestrahlen unter sich Unterschiede zeigen, welche vollkommen den Unterschieden der verschiedenfarbigen Lichtstrahlen entsprechen. Melloni bezeichnet diese Ungleichheit unter den Wärmestrahlen mit dem Namen der Thermochrose oder der Wärmefärbung.

Ein Körper, welcher Wärmestrahlen jeder Brechbarkeit gleich gut durchlässt, wie das Steinsalz, ist vollkommen diatherman; ein Stoff aber, welcher zwar für gewisse Wärmestrahlen diatherman ist, für andere aber nicht, ist wärmefarbig, thermochroisch. Alle Verschiedenheiten im Verhalten der von verschiedenen Quellen ausgehenden Wärmestrahlen, welche wir bereits kennen lernten, sind durch die Thermochrose dieser Wärmequellen, d. h. dadurch bedingt, dass sie Strahlen von verschiedener Wärmefarbe aussenden.

Wir haben oben gesehen, dass vollkommen farblose, durchsichtige Körper, wie Steinsalz, Glas, Quarz, Alaun, Wasser u. s. w., Körper also, welche die Lichtstrahlen aller Farben gleich gut durchlassen, doch ein sehr verschiedenes Verhalten gegen Wärmestrahlen zeigen. Es findet dies seine vollständige Erklärung durch die von Masson und Jamin in folgender Weise ausgeführte Untersuchung.

Nach der oben beschriebenen, später auch von Franz und mir angewandten Methode erzeugten sie mittelst eines Steinsalzprismas ein Wärmespectrum, sie brachten alsdann eine lineare Thermosäule der oben beschriebenen Art an verschiedene Stellen desselben und ermittelten dann, wie viel Procent der an einer bestimmten Stelle auf die Thermosäule fallenden Wärmestrahlen noch zu derselben gelangten, wenn eine (stets 8 Millimeter dicke) Platte der zu prüfenden Substanz vorgehalten wurde. Es ergaben sich auf diese Weise die in folgender Tabelle zusammengestellten Resultate:

Natur der einfallenden Strahlen.	Durchgegangene Wärmestrahlen.		
	Steinsalz. Procent.	Glas. Procent.	Alaun. Procent.
Grün	92	91	92
Gelb	92	93	94
Aeusserstes Roth	93	85	84

Im Durchschnitt wurden also von der Steinsalz-, der Glas- und der Alaunplatte 92 Procent der sie treffenden leuchtenden Wärmestrahlen durchgelassen. Dasselbe Resultat (Durchlassen von 92 Procent der einfallenden Strahlen) ergab sich auch als statt der durchsichtigen Platten ein mit parallelen Glasplatten begränzter, mit Wasser oder mit Salzlösungen gefüllter Trog angewandt wurde, mochte die Flüssigkeitsschicht nun eine Dicke von 10 oder von 50 Millimetern haben.

Daraus folgt nun, dass Wärmestrahlen jeder Brechbarkeit zwischen Violett und dem äussersten Roth von Steinsalz, Alaun, Glas und Wasser gleich vollständig durchgelassen werden, dass also innerhalb des sichtbaren Spectrums alle farblos durchsichtigen Substanzen auch gleich diatherman sind. Die ungleiche Diathermanität der in §. 261 besprochenen Substanzen kann also nur in ihrem ungleichen Verhalten gegen dunkle Wärmestrahlen begründet sein.

Aus den Untersuchungen von Masson und Jamin geht ferner auch hervor, dass Licht- und Wärmestrahlen gleicher Brechbarkeit vollkommen identisch sind.

Während also alle farblos durchsichtigen Substanzen gegen Wärmestrahlen, welche brechbarer sind als die äussersten rothen, vollkommen gleiches Verhalten zeigen, verhalten sie sich doch sehr verschieden gegen die dunklen Wärmestrahlen, welche über die rothe Gränze des sichtbaren Spectrums hinausliegen, also weniger brechbar sind als die rothen. Um die verschiedenen Stellen des dunklen Wärmespectrums bezeichnen zu können, theilten Masson und Jamin die Länge desselben, welche sie eben so gross fanden wie die des sichtbaren Spectrums, in sieben gleiche Theile und bezeichneten dieselben, vom Roth anfangend, mit O_7, O_6, O_5, O_4, O_3, O_2 und O_1. Als die lineare Thermosäule der Reihe nach in verschiedene dieser Abtheilungen gebracht wurde, ergaben sich folgende Resultate:

Natur der einfallenden Strahlen.		Durchgelassene Wärmestrahlen		
		Steinsalz. Procent.	Glas. Procent.	Alaun. Procent.
Aeusserstes Roth		93	85	84
Dunkle Strahlen	O_7	92	88	41
	O_5	92	54	29
	O_4	91	22	0
	O_2	90	0	0

Das Steinsalz lässt also alle Wärmestrahlen, leuchtende und dunkle, gleich gut durch, es ist vollkommen diatherman. Kein anderer fester oder flüssiger Körper hat diese von Melloni entdeckte Eigenschaft.

Das Glas, die leuchtenden Wärmestrahlen eben so gut durchlassend wie Steinsalz, absorbirt schon einen namhaften Theil der dunklen Wärmestrahlen. Noch stärker absorbirend wirkt aber Alaun.

Schwarzes Glas lässt zwar einen grossen Theil dunkler Wärmestrahlen durch, aber es absorbirt die leuchtenden Wärmestrahlen vollständiger. Noch diathermaner für dunkle Wärmestrahlen ist, wie Tyndall gefunden hat, eine Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff, obgleich dieselbe bei gehöriger Concentration vollkommen undurchsichtig ist.

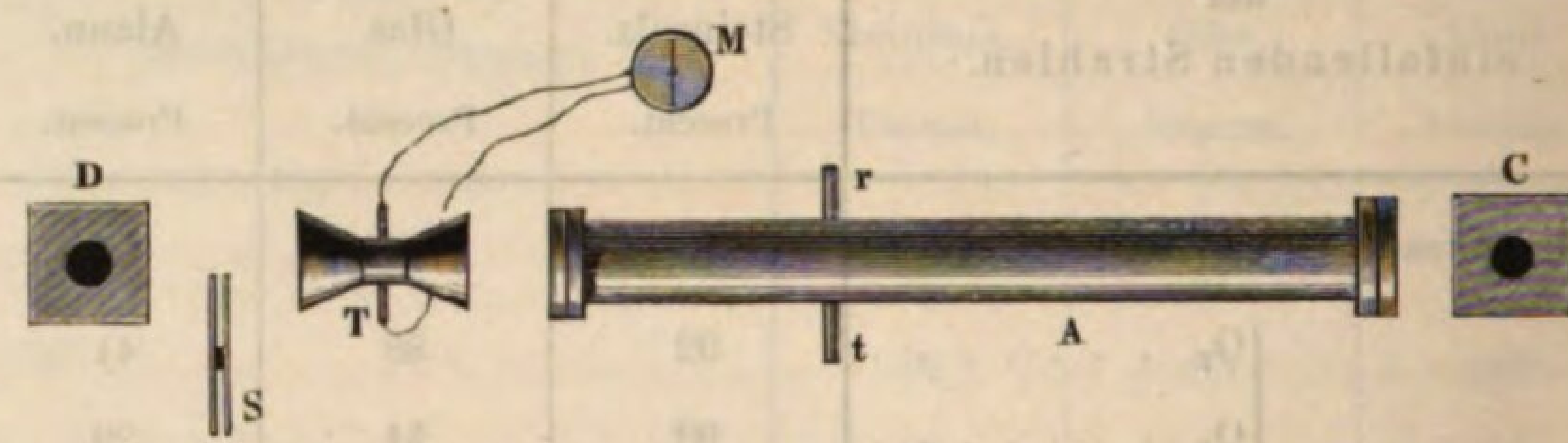
Diathermanität der Gase. Nach den Versuchen von Melloni 266
ist die Absorption der strahlenden Wärme durch die atmosphärische Luft für eine Strecke von 5 bis 6 Metern vollkommen unmerklich, während nach Franz eine Luftsäule von 3 Fuss Länge 3 Proc. der von einer Argand'schen Lampe auf sie fallenden Wärmestrahlen absorbirt.

Eine vollständige Untersuchung über die Absorption der Wärmestrahlen durch Gase und Dämpfe hat aber erst Tyndall angestellt (Pogg. Annal. Bd. CXIII und Bd. CXVI). Er wandte zu seinen Versuchen eine 4 Fuss lange Röhre von Zinn an, welche auf beiden Seiten luftdicht mit Steinsalzplatten verschlossen war. Diese Röhre konnte mittelst einer Luftpumpe evacuirt und dann mit wohl getrockneten Gasen oder mit Dämpfen gefüllt werden.

Um geringe Absorptionswirkungen der Gase noch merklich zu machen, hatte Tyndall seine Versuche in einer Weise arrangirt, wie es im Wesentlichen durch Fig. 709 (a. f. S.) schematisch (eine vollständige Abbildung und Beschreibung dieses Apparates nebst allem Zubehör findet sich in der deutschen Berabeitung des Tyndall'schen Werkes: Die Wärme

betrachtet als eine Art der Bewegung*), dargestellt ist. *C* ist ein Leslie'scher, mit siedendem Wasser gefüllter Würfel mit be-

Fig. 709.



russter Oberfläche, welcher als Wärmequelle diente. *A* ist die horizontal gestellte, auf beiden Seiten durch Steinsalzplatten geschlossene 4 Fuss lange Röhre, welche durch ein seitliches Rohr *r* mit einer Luftpumpe in Verbindung steht und in welche man durch ein seitliches Rohr *t* beliebige Gase und Dämpfe einlassen kann. Die Thermosäule war bei *T* aufgestellt. Die von *C* ausgehenden durch die luftleer gemachte Röhre *A* hindurchgehenden und auf die Thermosäule *T* fallenden Strahlen bewirkten eine der Ablenkung von 70° bis 75° am Multiplicator *M*. Bei dieser Stellung der Nadel hätte es aber schon einer bedeutenden Aenderung der auffallenden Strahlen bedurft, um nur eine ganz geringe Aenderung in der Ablenkung der Nadel zu bewirken. Um geringe Aenderungen der Wärmestrahlung schon merklich zu machen, führte Tyndall bei unveränderter Strahlung von *C* her die Nadel dadurch auf den Nullpunkt der Galvanometertheilung zurück, dass er auf der anderen Seite der Thermosäule einen zweiten Leslie'schen Würfel *D* aufstellte dessen Strahlung gegen die Thermosäule durch Vorschiebung eines doppelten Metallschirms *S* so regulirt werden konnte, dass sie die Wirkung der von *C* aus durch die luftleere Röhre kommenden Wärmestrahlen gerade neutralisirte. Bei einem derartigen Versuche betrug die Ablenkung, welche die von *C* durch die luftleere Röhre *A* kommenden Strahlen hervorbrachten, 71,5°. Als nun, nachdem die Nadel mittelst des Würfels *D* und des Schirmes *S* auf den Nullpunkt der Theilung zurückgeführt worden war, trockene atmosphärische Luft von atmosphärischer Pressung in die Röhre *A* eingelassen wurde, bewirkte dies eine Ablenkung der Nadel von etwa 1° zu Gunsten des Würfels *D*, die trockene atmosphärische Luft in der Röhre *A* hat also allerdings eine, wenn auch geringe Absorption von Wärmestrahlen bewirkt.

Nimmt man die Wärmemenge, welche nöthig ist, um die Nadel von 0° auf 1° zu bringen, als Einheit, so ist für das Tyndall'sche Instrument die Wärmemenge, welche einer Ablenkung von 71,5° entspricht, gleich 308, folglich beläuft sich die durch die trockene Luft in der Röhre *A* bewirkte Absorption ungefähr auf 0,33 Procent.

*) Braunschweig, Friedr. Vieweg & Sohn. 1867

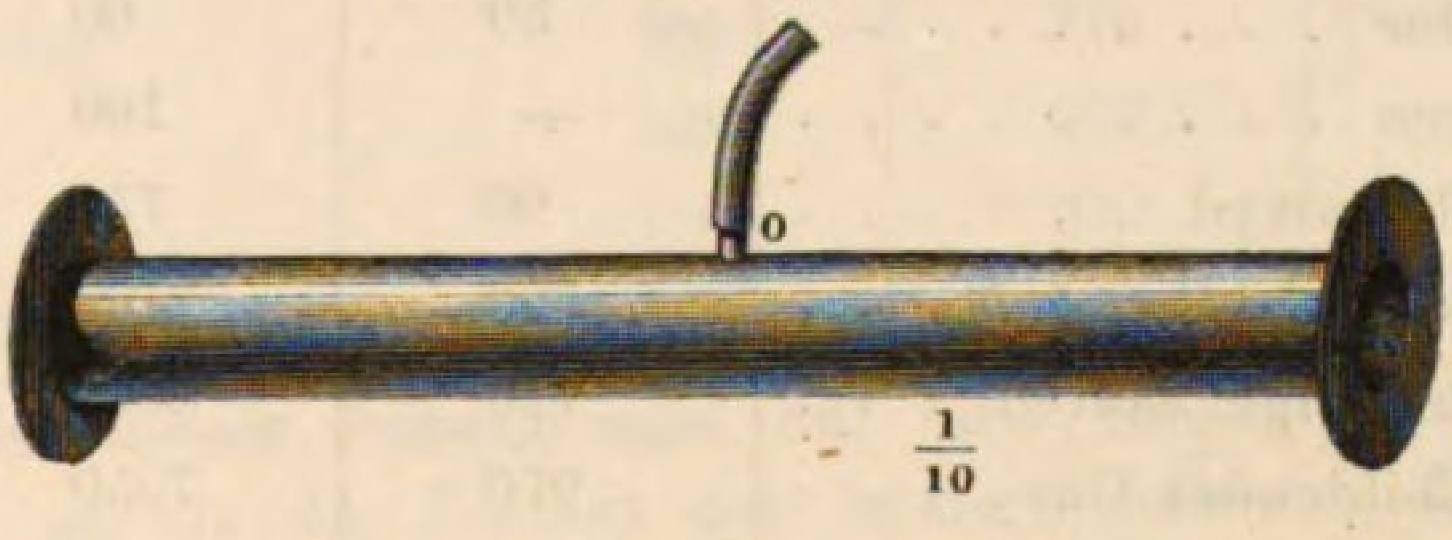
Fast das gleiche Resultat ergab sich für Sauerstoff-, Stickstoff- und Wasserstoffgas.

Ein höchst überraschendes Resultat ergab sich, als in die luftleer gemachte Röhre ölbildendes Gas eingelassen wurde. Die von *C* ausgehenden, durch die luftleere Röhre auf *T* fallenden Strahlen hatten bei diesem Versuche für sich eine Ablenkung von 75° bewirkt. Nachdem nun die Nadel durch das erwähnte Verfahren auf 0° zurückgeführt worden und das Gas in die Röhre eingelassen worden war, erfolgte eine Ablenkung von 70,3 Grad zu Gunsten des Würfels *D*. Obgleich das Gas nicht die mindeste Trübung zeigte, brachte es also eine Absorption von 81 Proc. hervor. Das Absorptionsvermögen des unter dem Druck der Atmosphäre stehenden ölbildenden Gases ist also für die 4 Fuss lange Röhre ungefähr 245mal so gross als das der atmosphärischen Luft von gleicher Spannkraft.

Das Absorptionsvermögen des ölbildenden Gases für dunkle Wärmestrahlen ist also viel bedeutender als das mancher fester und flüssiger Körper, welche Melloni untersucht hat; es ist so bedeutend, dass es des von Tyndall angewandten Kunstgriffs (Zurückführung der Galvanometernadel auf 0° durch die zweite Wärmequelle bei *D*) gar nicht bedurft hätte, um sie nachzuweisen.

Wenn es sich nicht um messende Versuche, sondern nur darum handelt, die starke Absorptionsfähigkeit gewisser Gase nachzuweisen, kann man auch die Steinsalzplatten weglassen und mit beiderseits offenen Röhren experimentiren, wie eine solche (6 Decimeter lang, 6 Centimeter innerer Durchmesser) in Fig. 710 dargestellt ist. Stellt man die Thermosäule nahe bei der einen Mündung dieses Rohres, die

Fig. 710.



Wärmequelle (einen Leslie'schen Würfel oder ein auf 400° erwärmtes geschwärztes Kupferblech) vor der anderen Mündung auf, so wird, während das Rohr mit atmosphärischer Luft gefüllt ist, der Multiplicator einen bestimmten Ausschlag zeigen. Lässt man nun aber durch ein seitliches Röhrchen *o* mittelst eines Kautschukschlauches Leuchtgas (welches sich ähnlich verhält wie ölbildendes Gas) in das Rohr eintreten, so findet alsbald ein bedeutender Rückgang der Multiplicatornadel statt.

Selbst bei bedeutender Verdünnung zeigte das ölbildende Gas noch seine absorbirende Kraft. Die folgende Tabelle enthält in der ersten Columne die nach englischen Zollen gemessene Spannkraft des Gases in der mit Steinsalzplatten verschlossenen Röhre, die zweite die Ablenkungen und die dritte die jeder Ablenkung entsprechende Absorption:

Spannung.	Ablenkung.	Absorption.
1	56,0°	90
3	59,3	123
5	60,5	163
7	61,4	182
10	62,2	192
20	66,0	227

Die Absorption wächst also in einem weit langsameren Verhältnisse als die Dichtigkeit. Offenbar wirkt hier die Vermehrung der Dichtigkeit des Gases ganz in der gleichen Weise wie die in §. 262 besprochene Vergrösserung der Dicke der absorbirenden Substanzen. Nur bei sehr bedeutenden Verdünnungsgraden ist die Absorption der Wärmestrahlen durch ölbildendes Gas seiner Spannkraft proportional.

Bei einer späteren mit verschiedenen Gasen angestellten Versuchsreihe wurde die 4 Fuss lange Metallröhre durch eine 2 Fuss 9 Zoll lange, 2,4 Zoll weite Glasröhre und der Leslie'sche Hohlwürfel durch eine geschwärzte auf ungefähr 300° erwärmte Kupferplatte ersetzt. Die folgende Tabelle enthält das relative Absorptionsvermögen einer Anzahl von Gasen unter dem gewöhnlichen Atmosphärendruck (30″ englisch) und unter dem Drucke von 1″.

	30″ Druck.	1″ Druck.
Luft	1	1
Chlor	39	60
Brom	—	160
Kohlenoxyd	90	750
Schwefelwasserstoff	390	2100
Schweflige Säuren	710	8800
Oelbildendes Gas	970	7950
Ammoniak	1195	7260

Die Einheit der letzten Verticalreihe beträgt nur $^1/_{30}$ von der Einheit der vorhergehenden.

Eine 2′ 9″ lange Säule von Ammoniakgas, dessen Spannkraft einer Quecksilbersäule von 1″ das Gleichgewicht hält, absorbirt also 7260mal mehr dunkle Wärmestrahlen als eine gleich lange Luftsäule von gleicher Spannkraft, und 242 mal mehr Wärmestrahlen als eine eben so lange Luftsäule, welche unter dem Druck der Atmosphäre steht.

Auch bei dieser Versuchsreihe ergab sich das Absorptionsvermögen von Sauerstoff-, Stickstoff- und Wasserstoffgas fast ganz gleich dem der atmosphärischen Luft.

Unter dem Druck der Atmosphäre steht das **Ammoniakgas** in Betreff seiner Absorptionskraft am höchsten. Eine 3 Fuss lange Säule dieses Gases ist wohl bei 760^{mm} Spannkraft vollkommen undurchdringlich für dunkle Wärmestrahlen, obgleich sie für Lichtstrahlen vollkommen durchsichtig ist.

Das Absorptionsvermögen der chemisch einfachen farblosen Gase, Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff, ist höchst unbedeutend im Vergleich zu dem der chemisch zusammengesetzten farblosen Gase, gegen welche selbst das Absorptionsvermögen der stark gefärbten einfachen Gase, **Chlor** und **Brom**, gering ist. Das vollkommen durchsichtige **ölbildende Gas** absorbirt (bei 1″ Spannkraft) mehr als 130 mal so stark als das Chlorgas und fast 50 mal so stark als der intensiv gefärbte Bromdampf von gleicher Tension.

Obgleich die Absorptionskraft der chemisch zusammengesetzten Gase eine sehr bedeutende ist, so werden sie in dieser Hinsicht doch bei weitem noch von den **Dämpfen** der meisten Flüssigkeiten übertroffen. Folgendes sind die Absorptionswerthe für mehrere Dämpfe von 0,1, 0,5 und 1,0 Zoll Spannkraft, wenn man mit 1 die Absorption bezeichnet, welche eine gleich lange trockene Luftsäule von atmosphärischer Dichtigkeit ausübt.

	0,1″	0,5″	1,0″
Schwefelkohlenstoff . . .	15	47	62
Benzol	66	182	267
Chloroform	85	182	236
Schwefeläther	300	710	870
Alkohol	325	622	—
Essigäther	590	980	1192

Die Zahlen dieser Tabelle sind auf eine Einheit bezogen, welche 30mal grösser ist als die Einheit der letzten Columne der Tabelle auf S. 836, um also die Absorption der auf S. 836 besprochenen, unter einem Drucke von 1″ stehenden Gase mit den eben angeführten Absorptionswerthen von Dämpfen bei gleichem Druck zu vergleichen, muss man die in der letzten Columne der Tabelle auf S. 836 gegebenen Zahlen durch 30 dividiren.

Nach den Versuchen von Tyndall soll auch der **Wasserdampf** stark absorbirend auf die dunklen Wärmestrahlen wirken. Während bei der oben beschriebenen Versuchsweise durch Eintreten wohlgetrockneter Luft in die Röhre A, Fig. 709, höchstens eine Ablenkung der Multiplicatornadel um 1^0 bewirkt wurde, ergab sich eine Ablenkung von 20 bis 30 Grad als man die Luft aus dem Laboratorium ungetrocknet eintreten liess. Daraus folgert Tyndall, dass die Absorption der Wärmestrahlen

in der Atmosphäre vorzugsweise durch die Wasserdämpfe in derselben bedingt ist, dass also auch mit dem Gehalt an Wasserdampf die Absorptionsfähigkeit der Atmosphäre variiren müsse.

Gegen diese Behauptung ist nun Magnus im CXXVII. Bande (1866) von Poggendorff's Annalen aufgetreten. Er untersuchte das Ausstrahlungsvermögen erhitzter Gase und fand keinen merklichen Unterschied zwischen dem der erhitzten trockenen und dem der erhitzten feuchten Luft, während erhitzte Kohlensäure und erhitztes Leuchtgas ein starkes Strahlungsvermögen zeigten. Da nun das Absorptionsvermögen der Körper ihrem Ausstrahlungsvermögen proportional ist, so folgert er aus seinen Versuchen, dass das Absorptionsvermögen der Luft, welche durchsichtige Wasserdämpfe enthält oder damit gesättigt ist, wenig von dem der trockenen Luft verschieden ist, und dass die Luft nur, wenn nebelartiger, d. i. condensirter Wasserdampf in ihr enthalten ist, die Wärme gut ausstrahlt und ebenso gut absorbirt.

Da Magnus die Vermuthung ausgesprochen hatte, dass die abweichenden Resultate Tyndall's möglicher Weise daher rühren könnten, dass sich auf den Steinsalzplatten eine geringe Quantität Wasserdampf niederschlägt, so wiederholte Tyndall seine Versuche mit beiderseits offenen Röhren, ähnlich denen, die wir auf S. 835 kennen lernten; nur war statt des einen Zuströmungsröhrchens *o* ein solches unten nahe am einen Ende des Rohres und ein ähnliches nahe am anderen Ende. Durch das eine Seitenröhrchen wurde nun abwechselnd trockene und dann feuchte Luft in das Hauptrohr eingetrieben, während durch das Seitenröhrchen am anderen Ende mittelst einer Luftpumpe Luft aus dem Hauptrohr herausgesaugt wurde. Es zeigte sich nun in der That, dass eine stärkere Absorption von Wärmestrahlen erfolgte, wenn feuchte Luft in das Rohr eingeleitet wurde.

Wild hat den Tyndall'schen Versuch in der Weise abgeändert, dass er ein beiderseits offenes Rohr auf jeder Seite der Thermosäule aufstellte und durch jedes dieser Rohre die Wärmestrahlen eines Leslie'schen Würfels auffallen liess. Nachdem alles so regulirt worden war, dass die Strahlung von beiden Seiten her gleich war, dass also das Galvanometer auf 0 stand, wurde in das eine Rohr feuchte, in das andere Rohr trockene Luft eingeführt, und es erfolgte nun in der That ein Ausschlag des Galvanometers in solcher Richtung, dass dadurch eine Verminderung der einfallenden Strahlen von Seiten des Rohres mit feuchter Luft angezeigt wurde.

Magnus hat aber schliesslich (Pogg. Annal. CXXX, 1867) gezeigt, dass dieser Erfolg nicht etwa daher rührt, dass die feuchte Luft mehr Wärmestrahlen absorbirt als die trockene, sondern daher, dass sich die blanke Metallfläche des Rohres in Berührung mit feuchter Luft mit einer zarten Schicht condensirten Wasserdampfes überzieht, in Folge dessen sie dann die Wärmestrahlen nicht mehr so gut reflectirt als vorher. Die Verminderung der Wärmestrahlung auf Seiten des Rohres, in welches

feuchte Luft eingeblasen wird, fällt weg, wenn die Röhre innen geschwärzt ist oder wenn man mit Pappröhren experimentirt.

Calorescenz. Wir haben oben in §. 265 gesehen, dass eine Lö- 267
sung von Jod in Schwefelkohlenstoff bei gehöriger Concentration und hinlänglicher Dicke vollkommen undurchsichtig ist, während sie die dunklen Wärmestrahlen sehr gut durchlässt.

Nach Tyndall's Versuchen lässt eine solche Jodlösung die dunklen Wärmestrahlen vollkommen eben so gut durch wie der reine farblose Schwefelkohlenstoff. Er benutzte diese Eigenschaft, um die dunklen Wärmestrahlen des elektrischen Kohlenlichtes mit Ausschluss aller gleichzeitig leuchtenden in einem Brennpunkte zu vereinigen. Unter den verschiedenen Anordnungen, durch welche er diesen Zweck erreichte, ist folgende die zweckmässigste: Hinter den Kohlenspitzen, zwischen welchen der Flammenbogen übergeht, wird ein Hohlspiegel von 5 Zoll Brennweite und 8 Zoll Durchmesser so aufgestellt, dass das von demselben reflectirte Strahlenbündel schwach convergirt. In den Weg dieses Strahlenbündels, etwa $3^1/_2$ Fuss von den Kohlenspitzen entfernt, wird dann ein Glaskölbchen von 2 bis $6^3/_4$ Zoll Durchmesser aufgestellt, welches mit der Jodlösung gefüllt ist. Dieselbe dient hier zugleich als Filtrum für die sichtbaren Strahlen, welche es zurückhält, und als Linse für die durchgehenden Strahlen. Brachte man Papier in den Brennpunkt des Kölbchens, so wurde es sogleich entzündet, während ein Stück platinirter Platinfolie in diesem Brennpunkte hellroth-, ja weissglühend wird.

Die auf der Platinplatte concentrirten dunklen Wärmestrahlen werden also hier in leuchtende Strahlen verwandelt, eine Erscheinung, welche Tyndall mit dem Namen der Calorescenz bezeichnet. (Phil. Magaz. May und June 1866.)

Die Idee, dass möglicher Weise die ultrarothen Wärmestrahlen durch Verwandlung in brechbarere sichtbar gemacht werden könnten, wie dies für die ultravioletten Strahlen durch Verwandlung in weniger brechbare (Fluorescenz) geschieht, ist allerdings von anderen Physikern schon vor Tyndall ausgesprochen, aber von keinem genügend experimentell nachgewiesen worden.

**Ungleichheit des Absorptions- und Diffusionsvermö- 268
gens für die Strahlen verschiedener Wärmequellen.** Da die unvollkommen diathermanen Körper bald die Wärmestrahlen der einen, bald die der anderen Wärmefarbe vorzugsweise absorbiren, so fragt es sich, ob nicht auch bei den athermanen Körpern etwas Aehnliches stattfindet, d. h. ob die athermanen Körper die Wärmestrahlen aller Arten mit gleicher Leichtigkeit absorbiren oder nicht?

Um diese Frage zu beantworten, stellte Melloni folgende Versuche an: Aus einer und derselben Kupfertafel wurden eine Anzahl Scheiben geschnitten, deren Durchmesser nur wenig grösser war als der Durch-

messer der äusseren Oeffnung des an die thermo-elektrische Säule angesetzten konischen Reflectors; alle diese Scheiben wurden auf der einen Seite durch Russ geschwärzt, auf der anderen Seite aber mit einem gleichmässigen Anstriche der zu prüfenden Substanz versehen; diese Scheiben wurden nun nach einander dicht vor die Oeffnung des konischen Reflectors gebracht, indem die geschwärzte Seite der Säule, die andere aber der Wärmequelle zugekehrt war. Durch die an der Vorderseite absorbirten Wärmestrahlen wurde die Platte erwärmt und sandte in Folge dessen auf der anderen Seite Wärmestrahlen nach der Säule. Die folgende Tabelle enthält die Resultate dieser Versuche.

Namen der Körper.	Glühendes Platin.	Kupfer von 400°.	Kupfer von 100°.
Kienruss	100	100	100
Bleiweiss	56	89	100
Hausenblase	54	64	91
Tusch	95	87	85
Gummilack	47	70	72
Blanke Metallfläche	13,5	13	13

Es ist hier das Absorptionsvermögen des Kienrusses mit 100 bezeichnet und damit das Absorptionsvermögen der anderen Körper verglichen worden, indem man einmal eine auf beiden Seiten berusste Scheibe und darauf die nur auf der einen Seite berusste, auf der anderen mit dem zu untersuchenden Körper überstrichene vor die Säule setzte. Man sieht aus dieser Tabelle, dass das Bleiweiss bei weitem weniger Wärmestrahlen absorbirt als der Kienruss, wenn das glühende Platin als Wärmequelle dient; die von dem auf 400° erwärmten Kupferbleche ausgehenden Strahlen werden schon vollständiger von Bleiweiss absorbirt; die Wärmestrahlen endlich, welche von der nur auf 100° erwärmten Wärmequelle ausgehen, werden durch das Bleiweiss eben so vollständig absorbirt als vom Kienruss.

Der Tusch zeigt ein umgekehrtes Verhalten; er absorbirt die Strahlen, welche von einer Wärmequelle von geringer Temperatur herkommen, weniger gut als die vom glühenden Platin ausgesandten.

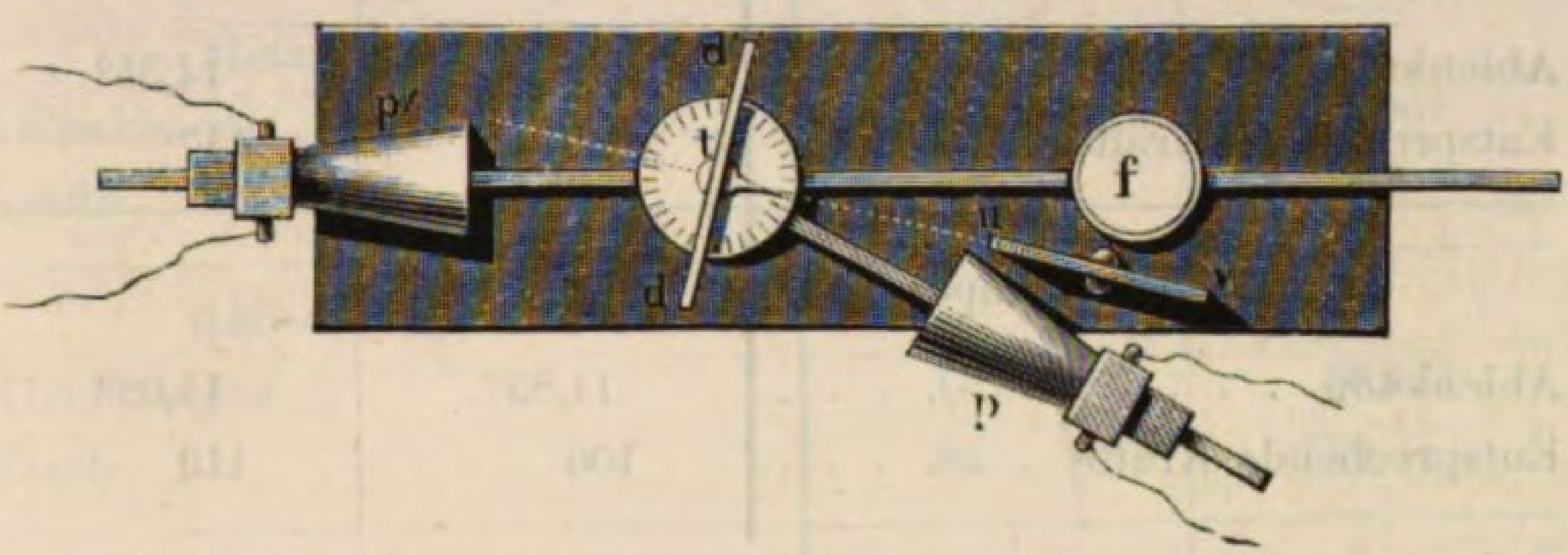
Das Bleiweiss absorbirt also vorzugsweise die weniger brechbaren Wärmestrahlen, der Tusch hingegen die brechbareren.

Der Kienruss absorbirt unter allen bekannten Körpern die Wärmestrahlen am vollständigsten; es folgt aber daraus doch noch nicht, dass er wirklich die Wärmestrahlen aller Wärmequellen in gleichem Verhältniss absorbirt. Die vollständige Kenntniss der Art und Weise, wie der Kienruss die verschiedenen Wärmestrahlen absorbirt, ist aber von der höchsten

Wichtigkeit, weil alle Thermoskope, welche man zur Untersuchung der strahlenden Wärme anwendet, mit Russ überzogen sind. Bei allen Untersuchungen mit der Thermosäule wurde stillschweigend angenommen, dass der Kienruss alle Wärmestrahlen gleichförmig absorbire, und alle aus den Beobachtungen mit diesem Instrumente gezogenen Folgerungen würden falsch sein, wenn die Voraussetzung unwahr wäre; Melloni hat die Richtigkeit dieser Voraussetzung durch folgende Versuche bewiesen.

Es sei dd', Fig. 711, die Horizontalprojection einer auf beiden Seiten berussten Scheibe von Kupferblech, welche 15 bis 20 Centimeter Durchmesser hat. Vor der Scheibe dd' ist ein Metallschirm uv aufgestellt, welcher die Thermosäule in p vor der directen Wirkung der von der

Fig. 711.



Wärmequelle bei f ausgehenden Strahlen schützt. Die Thermosäule ist am Ende eines horizontalen Stabes befestigt, welcher um die Axe t drehbar ist, so dass man die Thermosäule leicht von p nach p' und wieder zurückbringen kann. Der Winkel, welchen die Axe der Thermosäule mit der Ebene von dd' macht, ist in beiden Lagen derselbe, d. h. es ist Winkel ptd gleich Winkel $p'td'$. Zuerst wurde nun die Säule in die Lage p' gebracht; die Scheibe dd' erwärmt sich durch die von f ausgehenden und auf der Vorderseite von dd' absorbirten Strahlen, und in Folge dieser Erwärmung sandte dann die hintere Seite der Scheibe selbst Wärmestrahlen nach der Thermosäule. Man rückte die Wärmequelle so, dass das Maximum der Wirkung auf die Thermosäule in p' eine Ablenkung von ungefähr 12^0 hervorbrachte. Nun wurde die Säule nach p gebracht; jetzt musste die Ablenkung grösser sein, denn die vordere Fläche sandte nicht allein Wärmestrahlen in Folge der Erwärmung der Scheibe aus, sondern sie zerstreute auch einen Theil der von f kommenden Wärmestrahlen. Diese Versuche gaben folgende Resultate:

	Wirkungen der hinteren Fläche.	Wirkungen der vorderen Fläche.
Metall von 400°.		
Ablenkungen	12,36°	14,58°
Entsprechende Kräfte	100	118
Glühendes Platin.		
Ablenkungen	12,26°	14,35°
Entsprechende Kräfte	100	117
Locatelli's Lampe.		
Ablenkung	11,83°	14,08°
Entsprechende Kräfte	100	119

Die Wirkungen, welche die hintere und die vordere Fläche hervorbringen, stehen also stets in demselben Verhältnisse, in dem Verhältnisse von 100 zu 118, welche Wärmequelle man auch anwenden mag. Auf der Vorderfläche findet also eine schwache Diffusion statt, aber das Verhältniss zwischen Diffusion und Absorption ist stets dasselbe; der Kienruss hat also in der That für Wärmestrahlen aus allen Quellen gleiches Absorptionsvermögen.

Da der Kienruss alle Wärmestrahlen fast ganz absorbirt, so ist er so zu sagen schwarz für die Wärmestrahlen wie für die Lichtstrahlen.

Nun drängt sich die interessante Frage auf, ob es Körper giebt, welche alle Wärmestrahlen gleich gut zerstreuen, also Körper, welche für die Wärmestrahlen das sind, was ein weisser Körper für das Licht ist. Solche wärmeweissen Körper sind nun die Metalle; denn aus der Tabelle auf Seite 840 sehen wir, dass sie die Wärmestrahlen aller Arten in gleichem Maasse absorbiren, folglich müssen sie auch alle Wärmestrahlen in gleichem Maasse zerstreuen.

Aus der auf Seite 840 angeführten Tabelle ersieht man, dass das Bleiweiss nicht alle Wärmearten gleich gut absorbirt, und daraus folgt dann, dass auch sein Diffusionsvermögen für die Wärmestrahlen verschiedener Wärmequellen sehr ungleich sein müsse. Melloni hat dies auch durch den Versuch direct bewiesen, indem er statt der oben besprochenen dünnen Metallscheibe dd' eine solche anwandte, welche nur auf der Rückseite geschwärzt, auf der Vorderseite aber mit Bleiweiss angestrichen war. Wenn sich nun die thermo-elektrische Säule in p' befand, so wurde

sie nur durch die von der Scheibe in Folge ihrer Erwärmung ausgestrahlte Wärme afficirt; befand sich aber die Säule in p, so wirkten ausserdem auch noch die an der Vorderfläche zerstreuten Strahlen auf dieselbe. Die Resultate dieser Versuche waren folgende:

	Wirkungen der	
	hinteren schwarzen Fläche.	vorderen weissen Fläche.
Metall von 400⁰.		
Ablenkungen	11,51⁰	15,96⁰
Kräfte	93	129
Glühendes Platin.		
Ablenkungen	10,32⁰	18,68⁰
Kräfte	84	152
Locatelli's Lampe.		
Ablenkungen	8,13⁰	21,05⁰
Kräfte	69	181

Es sind also

die Ausstrahlungen der Hinterfläche	93	84	69
die entsprechenden Ausstrahlungen der Vorderfläche	129	152	181
das Verhältniss beider	$^{10}/_{14}$	$^{10}/_{18}$	$^{10}/_{26}$.

Die weisse Fläche hat also nicht gleiches Absorptions- und Diffusionsvermögen für alle Wärmearten. Die Strahlen des auf 400⁰ erhitzten Metalls werden von derselben fast eben so gut absorbirt als von der schwarzen; eine stärkere Diffusion und eine geringere Absorption erleiden die Strahlen des glühenden Platins, und dieses Verhältniss ändert sich noch mehr für die Locatelli'sche Lampe. Die weisse Fläche verhält sich demnach gegen die Wärmestrahlen wie eine farbige gegen das Licht; sie zerstreut nämlich Strahlen gewisser Wärmefarben, während sie andere Wärmestrahlen nicht zerstreut, sondern absorbirt.

Wenn nun aber irgend eine rauhe Oberfläche gewisse Strahlenarten in stärkerem Verhältniss absorbirt als andere, so ist klar, dass die von ihr diffundirten Strahlen im Allgemeinen in anderer Weise zusammengesetzt sein werden als die auffallenden, dass also die Beschaffenheit der diffusen Wärme von der ursprünglichen verschieden ist. Knoblauch

hat dies durch zahlreiche Versuche dargethan (Pogg. Annal. Bd. LXXI und Bd. CIX). So liess z. B. eine rothe Glasplatte 50 Proc. der direct von einer Argand'schen Lampe kommenden Strahlen durch, während dasselbe Glas 60 Proc. derjenigen Strahlen durchliess, welche von der Argand'schen Lampe kommend von einer Bleiweissfläche diffundirt worden waren.

Um den Effect der diffundirten Strahlen rein zu erhalten und die Mitwirkung von Strahlen auszuschliessen, welche von einer Erwärmung der diffundirenden Oberfläche herrühren könnte, waren die zu prüfenden Substanzen auf metallene Hohlwürfel aufgetragen, welche Wasser von der Temperatur der Umgebung enthielten. Die zu vergleichenden Flächen befanden sich auf verschiedenen Würfeln, um einen und denselben nicht zu lange den Wärmestrahlen auszusetzen. Ueberdies wurde jede Beobachtung möglichst beschleunigt.

Die folgende Tabelle enthält einen Theil der Resultate, die Knoblauch mit Sonnenstrahlen experimentirend erhalten hat. Die in dieser Tabelle enthaltenen Zahlen geben an, wie viel Procent der unreflectirten Strahlen und wie viel Procent der von verschiedenen Oberflächen diffundirten Strahlen von denjenigen diathermanen Körpern durchgelassen werden, welche in der ersten Verticalreihe aufgezählt sind.

Diathermane Körper.	Unreflectirte Wärmestrahlen.	Wärmestrahlen diffundirt von			
		Platin.	Gyps.	Carmin.	weissem Sammet.
Rothes Glas	38	36	48	56	48
Grünes Glas	11	12	20	14	20
Farbloses Glas	62	61	89	89	89
Alaun	54	51	69	69	69
Kalkspath	62	60	89	89	89

In gleicher Weise mit Wärmestrahlen experimentirend, welche von einer Argand'schen Lampe (ohne Glascylinder) ausgegangen waren, erhielt er folgende Resultate.

Diathermane Körper.	Unreflectirte Wärmestrahlen.	Wärmestrahlen diffundirt von		
		Bleiweiss.	Carmin.	Chromgelb.
Rothes Glas	50	60	64	60
Alaun	26	31	37	31
Kalkspath	60	80	89	80

Diathermane Körper.	Unreflectirte Wärmestrahlen.	Wärmestrahlen diffundirt von		
		Silber.	Platin.	Eisen.
Rothes Glas	59	60	60	60
Alaun	38	38	38	38
Kalkspath	60	60	60	60

Man sieht zunächst aus diesen Tabellen, dass die von rauhen Metallflächen diffundirten Strahlen fast ganz in demselben Verhältniss von den genannten diathermanen Körpern durchgelassen werden, wie die directen Strahlen der Sonne oder der Argand'schen Lampe, dass also die von Metallflächen diffundirten Wärmestrahlen die gleiche Zusammensetzung haben wie die auffallenden, dass also die Metallflächen die Wärmestrahlen verschiedener Wellenlängen gleich gut diffundiren oder, mit anderen Worten, dass rauhe Metallflächen für Wärmestrahlen dasselbe sind, wie weisse Körper für das Licht.

Anders verhält es sich mit den übrigen der oben genannten diffundirenden Oberflächen, welche sich in Beziehung auf Wärmestrahlen ebenso verhalten, wie farbige Körper in Beziehung auf Licht. Diese Oberflächen absorbiren die Wärmestrahlen gewisser Wärmequellen stärker als andere, weshalb die von ihnen diffundirten Wärmestrahlen in anderer Weise zusammengesetzt sein müssen als die auffallenden.

Dieselbe diffundirende Oberfläche wirkt aber, wie leicht begreiflich ist, nicht gleich modificirend auf Wärmestrahlen verschiedener Quellen.

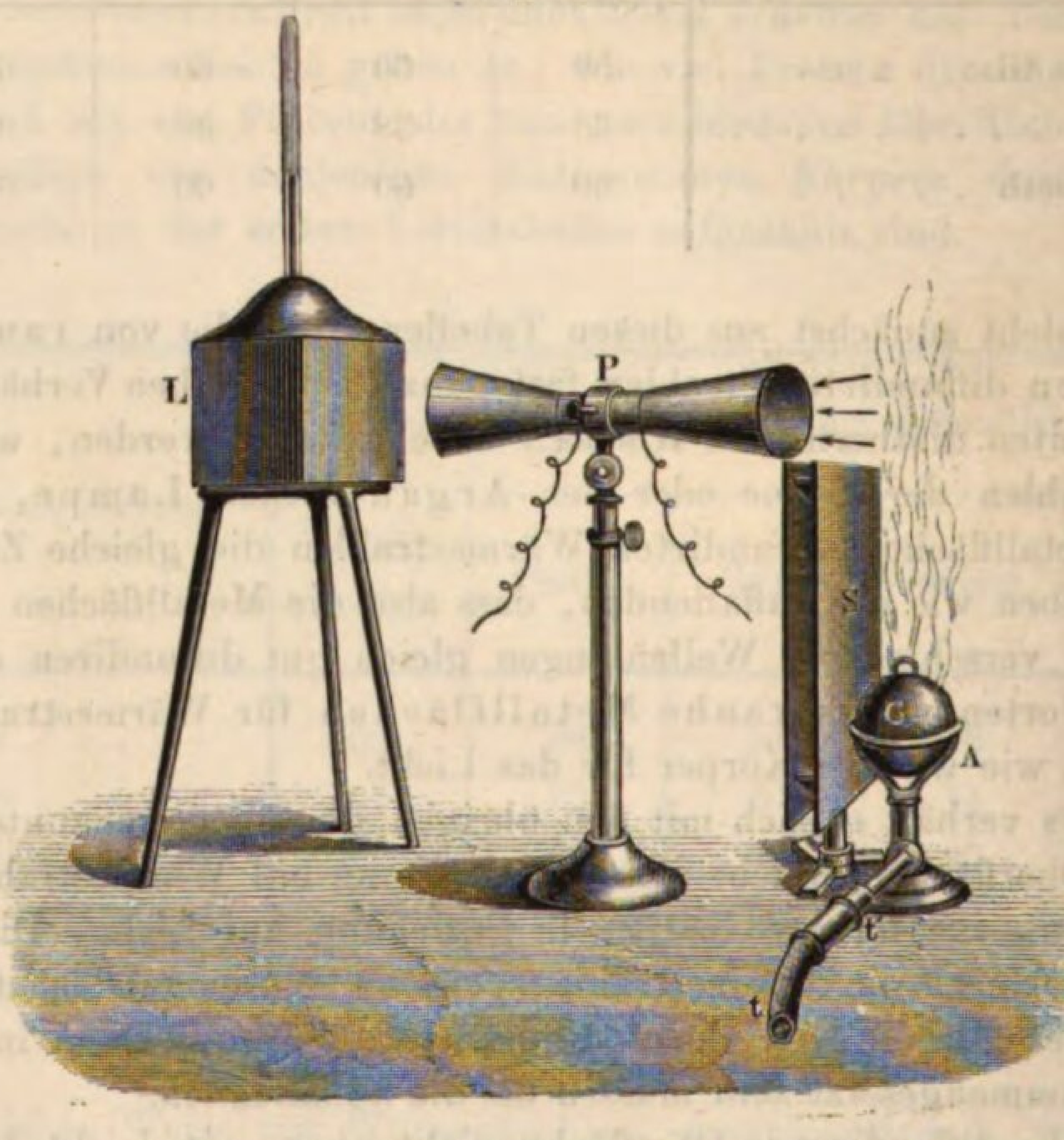
So ergab sich z. B., dass rothes Glas 25 Proc., Alaun 15 Proc., Kalkspath 26 Proc. der Strahlen durchlässt, welche von einem auf 80° erwärmten Eisenblech herkommen, mögen dieselben nun direct auf die diathermane Platte fallen oder erst von einer mit Carmin angestrichenen Fläche diffundirt worden sein. Hier fällt also die Verschiedenheit zwischen den directen und den diffundirten Strahlen ganz weg. Gleiches er-

giebt sich für diese Wärmequelle auch bei Anwendung anderer diffundirenden Oberflächen.

Dies Resultat zeigt, dass unter den Strahlen, welche das auf 80° erwärmte Eisenblech aussendet, diejenigen fehlen, welche vorzugsweise von den verschiedenen diffundirenden Oberflächen absorbirt werden.

269 **Das thermische Strahlungsvermögen der Gase.** Da das thermische Absorptionsvermögen der Körper ihrem Strahlungsvermögen vollkommen parallel läuft, so müssen diejenigen Gase, welche stark absorbirend auf die dunklen Wärmestrahlen wirken, auch ein starkes Strahlungsvermögen besitzen. Tyndall hat dies in folgender Weise nachgewiesen. Vor der mit zwei konischen Reflectoren versehenen Thermosäule P, Fig. 712, wird auf der einen Seite ein Argand'scher Brenner aufgestellt, auf welchem eine nicht ganz bis zur Rothglühhitze erwärmte Metallkugel aufgelegt wird. Um die Strahlung dieser Kugel von der Thermosäule ab-

Fig. 712.



zuhalten, dient der doppelte Schirm S. Wenn kein Gas aus dem Gasometer ausströmt, so steigt von der heissen Kugel nur erhitzte Luft auf, welche nur ein schwaches Strahlungsvermögen besitzt und deren geringe Wirkung auf die Säule man durch einen Leslie'schen Würfel neutralisiren kann, welcher Wasser enthält, welches nur wenig wärmer ist als die Umgebung. Lässt man aber, nachdem auf diese Weise die Galvanometernadel auf 0 gebracht worden ist, ein stark absorbirendes Gas aus

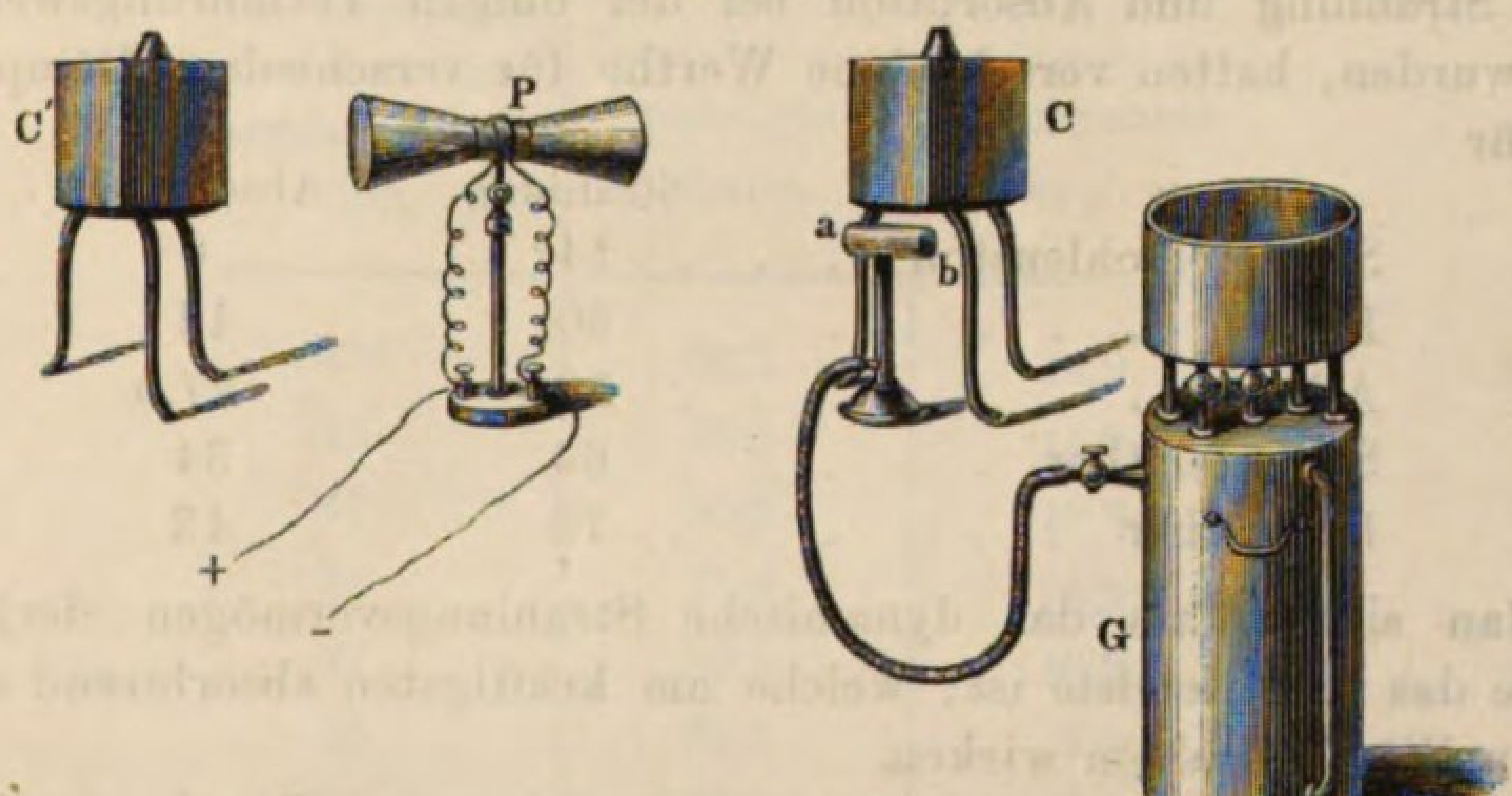
einem Gasometer durch das Kautschukrohr tt' und den Argand'schen Brenner ausströmen, so dass dasselbe an der heissen Kugel erhitzt vor dem Schirm S aufsteigt, so wird es in der Richtung der kleinen Pfeile gegen die Thermosäule strahlen und eine mehr oder minder grosse Ablenkung des Galvanometers bewirken. In der zweiten Columne der folgenden Tabelle ist angegeben, wie gross die Ablenkung war, wenn das in der ersten Columne genannte Gas aus dem Brenner aufstieg.

Luft	unmerklich
Kohlenoxydgas	12°
Kohlensäure	18
Stickoxydulgas	29
Oelbildendes Gas	53

Stickstoff, Sauerstoff und Wasserstoff verhalten sich wie atmosphärische Luft.

Eine andere Methode das Strahlungsvermögen der Gase nachzuweisen ist folgende: Auf jeder Seite der Thermosäule P, Fig. 713, wird ein mit kochendem Wasser gefüllter Leslie'scher Würfel so aufgestellt, dass jeder derselben eine blank polirte, also schlecht strahlende Fläche

Fig. 713.

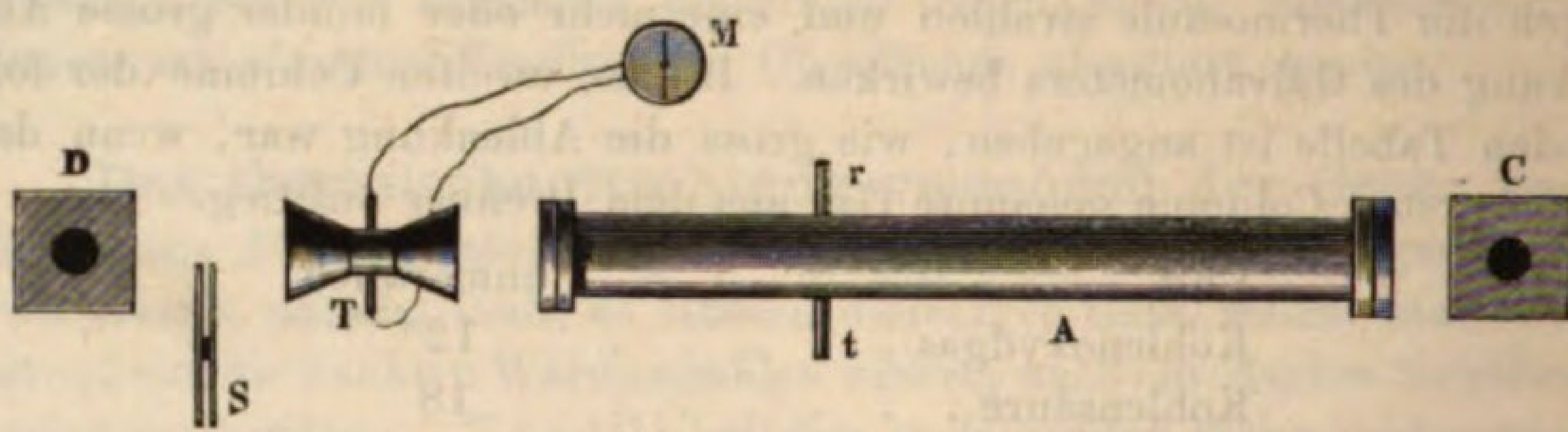


der Thermosäule zukehrt. Vor dem Würfel C ist aber ein Metallrohr ab aufgestellt, welches oben mit einem Schlitz versehen ist, aus welchem Gas aufwärts ausströmt, wenn dasselbe aus dem Gasometer G durch einen Kautschukschlauch in ab einströmt. Sobald ein Strom irgend eines der stark absorbirenden Gase, etwa Leuchtgas, an der blanken warmen Fläche vorbeiströmt, wird ihr Ausstrahlungsvermögen bedeutend erhöht, gleichsam als hätte man sie mit einer Firnissschicht überzogen.

Tyndall hat das starke Strahlungsvermögen gewisser Gase und Dämpfe noch auf eine dritte Art nachgewiesen. Die Wärmequellen C und D, Fig. 714 a. f. S., wurden entfernt und in die Röhre A so viel von einem stark absorbirenden Gas oder Dampf eingelassen, bis die Spannkraft des-

selben 0,5 Zoll betrug. Liess man nun getrocknete Luft in die Röhre einströmen, so erfolgte eine bedeutende Ablenkung der Multiplicatornadel,

Fig. 714.



welche eine Erwärmung des Gases andeutete. — Nach und nach ging nun die Nadel wieder auf 0⁰ zurück. War dies erfolgt, so wurde die Röhre *A* mittelst der Luftpumpe evacuirt und nun erfolgte ein Ausschlag der Nadel nach der entgegengesetzten Seite.

Tyndall bezeichnet mit dem Namen der dynamischen Strahlung und der dynamischen Absorption die Wirkungen, welche der durch Einströmen von Luft erwärmte und der durch Evacuiren erkaltete Dampf auf den Thermomultiplicator ausübt.

Die Ablenkungen der Multiplicatornadel, welche durch die dynamische Strahlung und Absorption bei der obigen Verfahrungsweise bewirkt wurden, hatten verschiedene Werthe für verschiedene Dämpfe und zwar für

	Strahlung.	Absorption.
Schwefelkohlenstoff . . .	14^0	6^0
Benzol	30	14
Alkohol	50	27,5
Schwefeläther	64	34
Essigäther	70	43

Man sieht, dass das dynamische Strahlungsvermögen derjenigen Dämpfe das bedeutendste ist, welche am kräftigsten absorbirend auf die dunklen Wärmestrahlen wirken.

Die Erklärung dieser Erscheinung ist folgende: Die durch die Luft bei ihrem Eintreten erzeugte Wärme theilt sich dem Dampfe mit, welcher dadurch temporär eine Quelle strahlender Wärme wird. Das Umgekehrte findet statt, wenn die Röhre ausgepumpt wird; der Dampf wird abgekühlt, seine grosse Absorptionswirkung auf die Wärme, welche von der der Röhre zugewendeten Seite der Thermosäule ausgestrahlt wird, bewirkt eine Erkaltung derselben.

270 **Polarisation der Wärmestrahlen.** Melloni hat die Polarisation der strahlenden Wärme durch folgenden Versuch nachgewiesen. An jedem Ende einer metallenen Röhre war ein Ring drehbar, welcher eine Säule von 8 bis 10 ganz dünnen Glimmerblättchen trug, die so auf einander gelegt waren, dass die Ebene der optischen Axen für alle diese

Blättchen dieselbe Lage hatte; vor dieser Röhre befand sich eine Steinsalzlinse, in deren Brennpunkte die Wärmequelle aufgestellt war, so dass ein Bündel paralleler Wärmestrahlen auf die erste Glimmersäule fiel; auf der anderen Seite der Röhre war die thermo-elektrische Säule aufgestellt. Je nachdem die Ringe mit den Glimmersäulen um die Axe der Röhre gedreht wurden, konnte man die Glimmersäulen nach Belieben so stellen, dass ihre Polarisationsebenen parallel waren, oder dass sie sich rechtwinklig kreuzten. Ausserdem war aber noch die Einrichtung getroffen, dass man die Neigung der Glimmersäule gegen die Axe der Röhre ändern konnte.

Die Wärmemenge, welche durch die beiden Glimmersäulen hindurchgeht, ist nun sehr ungleich, je nachdem die Polarisationsebenen der beiden Glimmersäulen parallel oder gekreuzt sind, wie man dies aus folgender Tabelle ersieht, welche die Resultate einer der zahlreichen von Melloni über die Polarisation der strahlenden Wärme angestellten Versuchsreihen enthält. Jede der beiden Glimmersäulen war bei dieser Versuchsreihe aus 20 Glimmerblättchen zusammengesetzt.

Neigung der Säulen gegen die Richtung der durchgehenden Strahlen.	Ablenkende Kraft der durchgelassenen Wärmestrahlen für	
	parallele Säulen.	gekreuzte Säulen.
45°	26,5	14,9
43	28,5	14,3
41	30,2	13,3
39	31,9	16,2
37	32,5	10,8
35	32,9	9,3
33	32,8	7,8
31	30,8	6,1
29	28,0	4,6
27	24,3	3,3
25	19,9	2,1
23	15	1,4

Wenn die Säulen gekreuzt sind, lassen sie also in der That weniger Wärmestrahlen durch als wenn sie parallel sind, und zwar wächst der Unterschied um so mehr, je mehr sich die Ebene der Glimmerblättchen der Richtung der durchgehenden Wärmestrahlen nähert; die Glimmersäulen polarisiren also die Wärmestrahlen durch Brechung um so vollständiger, je schräger sie hindurchgehen.

Forbes, welcher die ersten Versuche über die Polarisation der strahlenden Wärme angestellt hatte, glaubte aus seinen Beobachtungen den Schluss ziehen zu müssen, dass die Wärmestrahlen verschiedener Wärmequellen ungleich polarisirbar seien, was nach Melloni's Versuchen durchaus nicht der Fall ist.

Auch durch Turmalinplatten lassen sich die Wärmestrahlen polarisiren. Ferner zeigt ein zwischen die beiden Glimmersäulen gebrachtes Glimmerblättchen die Erscheinung der Depolarisation der Wärmestrahlen ganz in der Art wie eine doppeltbrechende Krystallplatte, welche, zwischen die gekreuzten Spiegel des Polarisationsapparates gebracht, das Gesichtsfeld wieder hell machen kann; daraus geht dann hervor, dass die strahlende Wärme auch der doppelten Brechung fähig ist. Ohne über die Gränzen eines Lehrbuchs hinauszugehen, dürfen wir jedoch diesen interessanten Gegenstand nicht weiter verfolgen.

271 **Interferenz der Wärmestrahlen.** Nach Allem, was wir bis jetzt über Wärmestrahlen kennen gelernt haben, nachdem nachgewiesen worden war, dass sie ihrem Wesen nach identisch sind mit den Lichtstrahlen, liess sich nicht zweifeln, dass sie auch Interferenzerscheinungen zeigen müssen, allein erst Knoblauch hat dies auf unzweifelhafte Weise durch den Versuch (Pogg. Annal. Bd. CVIII.) unter anderen auf folgende Weise dargethan.

Die von einem Heliostat reflectirten, durch einen Spalt von 4 bis 6^{mm} Weite in ein finsteres Zimmer eintretenden Sonnenstrahlen fielen in 2,3 Meter Abstand vom Fenster auf ein Glasgitter, hinter welchem eine achromatische Linse aufgestellt war, welche die Beugungsspectra ungefähr in einer Entfernung von 0,5 Meter entwarf. An dem Orte dieser Spectra wurde nun eine quadratische Thermosäule aufgestellt, deren vordere Oeffnung durch Flügel enger oder weiter gemacht werden konnte.

Fig. 715.



Als die Thermosäule so aufgestellt war, dass das weisse Mittelbild *OO*, Fig. 715, auf die Thermosäule fiel, ergab sich (je nach der Feinheit des Gitters) eine Ablenkung der Multiplicatornadel von 2^0 bis 18^0. Als die Thermosäule in den Zwischenraum zwischen dem weissen Mittelbilde und dem ersten Spectrum rechts oder links aufgestellt wurde, ging die Nadel auf 0^0 zurück; sie wurde aber wieder auf $0{,}6^0$ bis $0{,}7^0$ abgelenkt, als die

Thermosäule an die Stelle eines der ersten Seitenspectra $R\,V$ gestellt wurde.

Am reinsten war die Erscheinung bei fein geritzten Bergkrystallplatten. An verschiedenen Stellen des Beugungsbildes ergaben sich folgende Ablenkungen:

Weisses Mittelbild	2^0
Erster dunkler Zwischenraum . .	0
Erstes Seitenspectrum	1,25
Zweiter dunkler Zwischenraum .	0
Zweites Seitenspectrum	0,87

Mit einem Steinsalzgitter und einer Steinsalzlinse ergaben sich folgende Resultate:

Weisses Mittelbild	$17{,}25^0$
Erster dunkler Zwischenraum . .	0,5
Erstes Spectrum	3,5

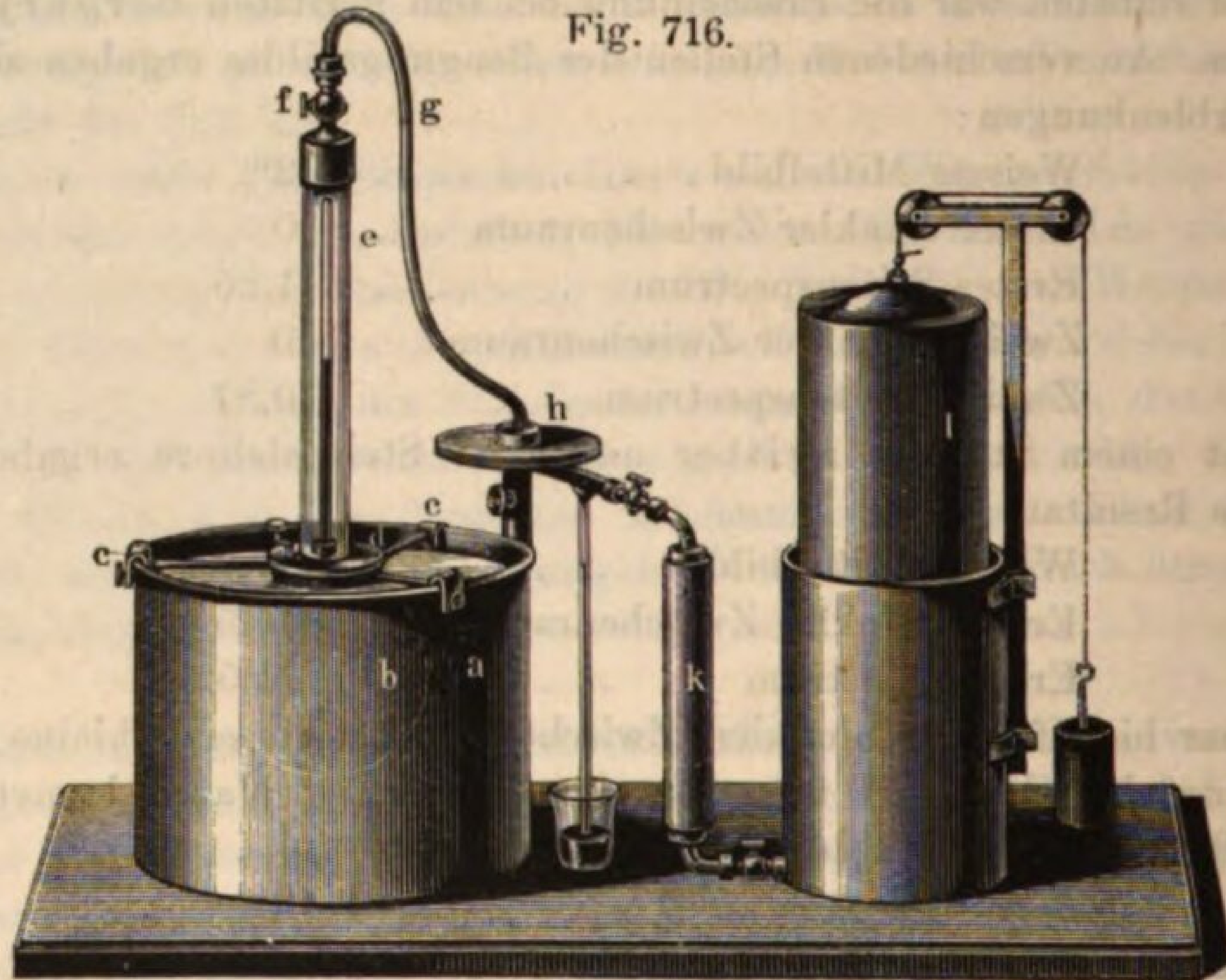
Dass hier für den dunklen Zwischenraum noch eine kleine Ablenkung zurückblieb, rührt nur von einer bei diesem Material unvermeidlichen Diffusion der Strahlen her.

Gesetze des Erkaltens. Seit Newton, welcher zuerst einige 272
Grundsätze über das Erkalten der Körper aufgestellt hatte, sind von vielen Gelehrten experimentale und mathematische Untersuchungen darüber angestellt worden, doch blieb die Frage von unüberwindlichen Schwierigkeiten umgeben, bis Dulong und Petit sie vollständig lösten. Ihre Arbeit wurde im Jahre 1818 von der Akademie der Wissenschaften zu Paris gekrönt.

Der Apparat, den sie zu ihren Versuchen anwandten, ist Fig. 716 (a. f. S.) abgebildet; das kupferne Gefäss a ist mit Wasser angefüllt, welches durch fortwährende Bewegung und Erneuerung auf constanter Temperatur erhalten wird; b ist ein Ballon von Kupfer, welcher 30 Centimeter Durchmesser hat und innen geschwärzt ist; er ist in das Wasserbad eingesenkt und durch die Träger c gehalten. Auf den breiten wohl abgeschliffenen Rand des Ballons wird eine vollkommen ebene Platte d von dickem Glase aufgesetzt, auf welche dann eine weite Glasröhre ganz so aufgesetzt wird, wie eine Glasglocke auf den Teller der Luftpumpe. Diese Röhre ist oben mit einem Hahn f versehen und durch die Bleiröhre g mit einer Luftpumpe in Verbindung gesetzt, von welcher in unserer Figur nur der Teller h gezeichnet ist. Das Rohr k ist mit Chlorcalcium gefüllt, welches dazu dient, das aus dem Gasometer l kommende Gas zu trocknen, wenn man Versuche über das Erkalten in verschiedenen Gasen anstellen will. Die Körper, welche man in diesem Apparate erkalten lässt, sind grosse Thermometer mit kugelförmigem Gefässe von 3 bis 6 Centimeter Durchmesser. Diese Thermometer sind mittelst eines Korkstopfens in der Glasplatte d befestigt und können mit dieser abgehoben und bis auf 100^0, 200^0 oder 300^0 erwärmt werden.

Wenn das Thermometer bis auf die gehörige Temperatur erwärmt ist, wird es rasch in den Ballon gebracht, die Röhre *e* aufgesetzt und die

Fig. 716.



Luft rasch ausgepumpt. Das Thermometer sinkt nun fortwährend, und man beobachtet in mehr oder weniger nahe auf einander folgenden Momenten die Temperaturabnahme, indem man zugleich die einer jeden Temperaturabnahme entsprechende Zeit mit Hülfe einer Uhr bestimmt.

Auf diese Weise haben Dulong und Petit viele Versuche ausgeführt. Die folgende Tabelle enthält die Resultate einer solchen Versuchsreihe, bei welcher stets dasselbe Thermometer angewandt wurde, während die Temperatur des Wasserbades und der Hülle *b* abänderte.

Temperatur-überschuss des Thermometers.	Geschwindigkeit des Erkaltens.				
	Hülle von 0⁰.	Hülle von 20⁰.	Hülle von 40⁰.	Hülle von 60⁰.	Hülle von 80⁰.
240⁰	10,69⁰	12,40⁰	14,35⁰	—	—
220	8,81	10,41	11,98	—	—
200	7,40	8,58	10,01	11,64⁰	13,45⁰
180	6,10	7,04	8,20	9,55	11,05
160	4,89	5,67	6,61	7,68	8,95
140	3,88	4,57	5,32	6,14	7,19
120	3,02	3,56	4,15	4,84	5,64
100	2,30	1,74	3,16	3,68	4,29
80	1,74	1,99	2,30	2,73	3,19
60	—	1,40	1,62	1,88	2,17

Unter **Geschwindigkeit des Erkaltens** ist immer die Temperaturerniedrigung zu verstehen, welche das Thermometer während einer Minute erleidet. Wenn z. B. die Hülle eine Temperatur von 0°, das Thermometer aber eine um 240° höhere Temperatur hat, so sinkt es in einer Minute um 10,69°; wenn aber das Thermometer auf 100° erkaltet ist, so nimmt seine Temperatur in einer Minute nur noch um 2,3° ab.

Newton hatte geglaubt, dass der Wärmeverlust eines Körpers in jedem Augenblicke seinem Temperaturüberschusse proportional sei; die oben angeführte Versuchsreihe zeigt aber, dass dies nicht der Fall ist.

Wenn das Thermometer bei einem Temperaturüberschusse von 80° in einer Minute um 1,74° erkaltet, so müsste es nach dem Newton'schen Gesetze bei einem Temperaturüberschusse von 160° in einer Minute um 3,48° und bei 240° in einer Minute um 5,22° erkalten, während nach den Dulong'schen Versuchen bei einem Temperaturüberschusse von 160° und 240° die Erkaltung weit rascher vor sich geht.

Das Newton'sche Gesetz ist nur so lange annähernd richtig, als der Temperaturüberschuss nicht über 40° bis 50° beträgt; die Erkaltungsgeschwindigkeit wächst in einem weit rascheren Verhältniss als der entsprechende Temperaturüberschuss.

Man sieht auch aus obiger Tabelle, dass bei gleichem Temperaturüberschusse die Geschwindigkeit des Erkaltens noch von der Temperatur der Hülle abhängig ist. Wenn z. B. die Hülle 80° warm ist, so ist bei gleichem Temperaturüberschusse die Geschwindigkeit des Erkaltens fast doppelt so gross als bei einer Hülle von 0°.

Versuche, welche mit Thermometern angestellt wurden, deren Kugeln verschiedene Durchmesser hatten, ergaben das Resultat, dass sich die Erkaltungsgeschwindigkeit umgekehrt wie der Durchmesser verhält; dass die Erkaltungsgeschwindigkeit von der Natur der Oberfläche abhängt, versteht sich von selbst.

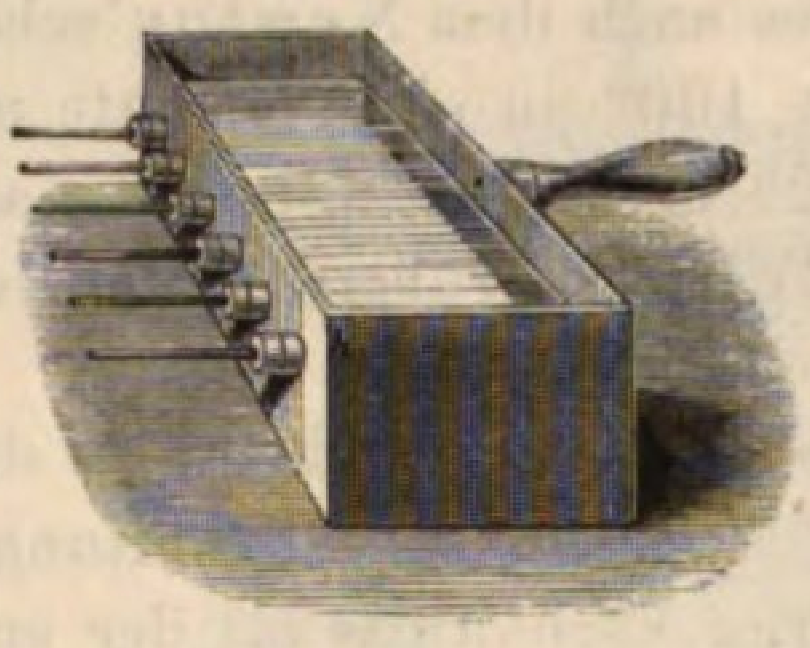
Wenn der erkaltende Körper ringsum von Luft oder irgend einem anderen Gas umgeben ist, so verliert er seine Wärme aus zwei Ursachen, nämlich durch Strahlung nach denselben Gesetzen wie im leeren Raume und durch die Berührung mit dem Gas, welches sich durch das Aufwärtsströmen der erwärmten Theilchen stets erneuert.

Verbreitung der Wärme durch Leitung. Nicht allein 273
durch Strahlung, sondern auch bei unmittelbarer Berührung kann die Wärme von einem Körper zum anderen übergehen und sich alsdann durch seine ganze Masse hindurch verbreiten; doch findet in Beziehung auf die Leichtigkeit, mit welcher die Wärme in einen Körper übergeht und sich durch seine Masse verbreitet, eine grosse Ungleichheit zwischen verschiedenen Körpern statt; in manchen verbreitet sich die Wärme ausserordentlich leicht, während in anderen die Wärme weniger leicht von einem Theilchen zum anderen übergeht. Ein brennendes Schwefelhölzchen kann man zwischen den Fingern halten, ohne nur eine Temperaturerhö-

hung des Holzes zu fühlen; die hohe Temperatur des brennenden Endes theilt sich also nicht so leicht der übrigen Masse des Holzes mit, das Holz ist ein schlechter Wärmeleiter; einen gleich langen Metalldraht aber, den man an dem einen Ende glühend gemacht hat, kann man am anderen Ende nicht anfassen, ohne sich zu verbrennen, die Wärme verbreitet sich also leicht von dem glühenden Ende aus durch das ganze Drahtstück; das Metall ist also ein guter Wärmeleiter.

Um zu zeigen, wie ungleich die Fähigkeit verschiedener Körper ist, die Wärme fortzuleiten, kann man den Fig. 717 dargestellten, von Ingenhouss angegebenen Apparat anwenden. In die eine Seitenwand eines Kastens von Blech sind mehrere aus den zu vergleichenden Substanzen verfertigte Stäbchen eingesteckt, welche sämmtlich gleichen Durchmesser haben müssen und sämmtlich mit einer Schicht von Wachs überzogen sind; wenn man nun kochendes Wasser oder heisses Oel in den Kasten giesst, so wird die Wärme auch mehr oder weniger weit in die Stäbchen vordringen und den Wachsüberzug schmelzen. Nehmen wir an, das eine Stäbchen sei von Kupfer, eines von Eisen, ein drittes von Blei, das vierte von Glas, das letzte von Holz, so wird die Wachsschicht des Kupferstäbchens schon vollständig bis ans Ende geschmolzen sein, während bei allen anderen Stäbchen die Schmelzung des Wachses noch nicht so weit vorgeschritten ist; das Kupfer ist also unter diesen fünf Körpern der beste Wärmeleiter. Für das Eisenstäbchen schreitet die Schmelzung des Wachses rascher voran als für das Bleistäbchen, und während das Wachs auf dem Kupferstabe ganz weggeschmolzen ist, ist die Wachsschicht auf dem Glasstabe nur auf eine sehr unbedeutende Strecke geschmolzen, an dem Holzstäbchen ist aber kaum ein Anfang des Schmelzens wahrzunehmen, das Holz ist also in der That unter diesen Körpern der schlechteste Wärmeleiter.

Fig. 717.



Unter allen Körpern sind die Metalle die besten, Asche, Seide, Haare, Stroh, Wolle u. s. w., überhaupt die lockereren organischen Körper, die schlechtesten Wärmeleiter.

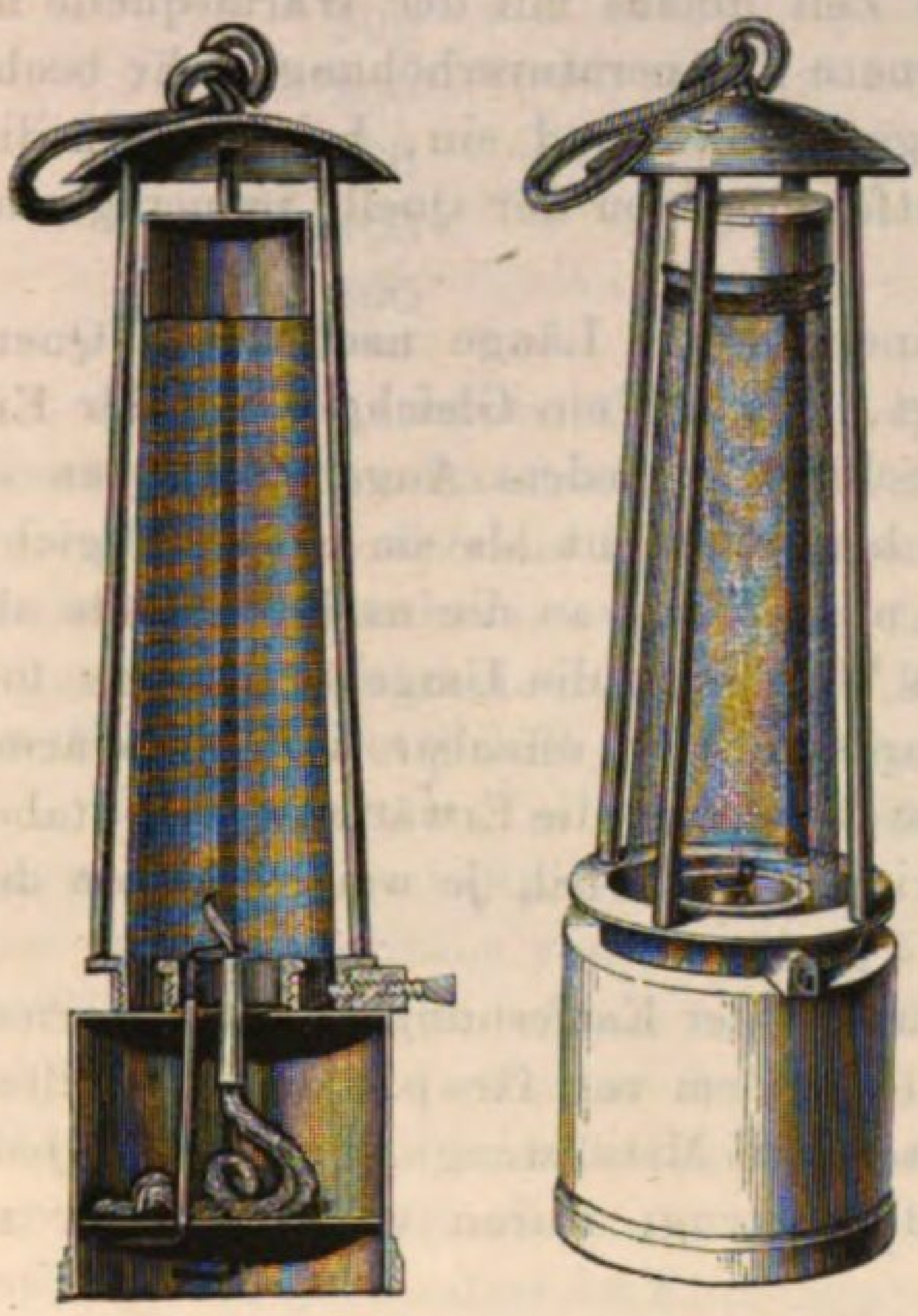
Im praktischen Leben machen wir von der guten oder schlechten Wärmeleitungsfähigkeit verschiedener Körper zahlreiche Anwendungen. Gegenstände, die man vor Erkaltung schützen will, umgiebt man mit schlechten Wärmeleitern; man umwickelt Bäume und Sträuche des Winters mit Stroh, um sie vor dem Erfrieren zu schützen; unsere Kleider halten warm, weil sie aus schlechten Wärmeleitern verfertigt sind. Um das Eis in unseren Eiskellern zu conserviren, wird es mit schlechten Wärmeleitern umgeben und mit Stroh zugedeckt, um das Eindringen der Wärme von aussen her zu verhindern.

In einem kupfernen Gefässe bringt man unter sonst gleichen Um-

ständen eine Flüssigkeit leichter ins Kochen als in einem Porcellangefässe von gleicher Dicke.

Hält man ein Drahtgewebe, welches nicht weniger als 400 bis 500 Maschen auf den Quadratzoll enthält, in eine Weingeistflamme, so geht die Flamme nicht durch, sie scheint durch das Drahtnetz wie abgeschnitten. Es ist dies eine Folge davon, dass das Drahtnetz wegen der guten Wärmeleitungsfähigkeit des Metalls so viel Wärme wegführt, dass oberhalb des Drahtnetzes nicht mehr die zum Brennen des Gases nothwendige Wärme vorhanden ist. Darauf gründet sich Davy's Sicherheitslampe, Fig. 718. Es ist dies eine einfache Oellampe, deren Flamme von einem cylindrisch gebogenen Drahtnetz umgeben ist; der obere Theil des Cylinders ist durch einen Deckel von Messingblech geschlossen. Durch dieses Drahtnetz pflanzt sich nun die Verbrennung nicht nach aussen fort, wenn man auch in eine mit Kohlenwasserstoff beladene Atmosphäre kommt, wie sie sich öfters in Kohlenbergwerken findet, obgleich das ins Innere des Drahtcylinders eingedrungene Gas mit blauer Flamme brennt.

Fig. 718.



Das Wärmeleitungsvermögen. Die Schnelligkeit, mit welcher das Abschmelzen des Wachsüberzuges von den verschiedenen Stäbchen des Apparates Fig. 717 wegschmilzt, ist durchaus kein Maass für die Wärmeleitungsfähigkeit derselben, denn diese Schnelligkeit hängt nicht allein von der Wärmeleitungsfähigkeit, sondern auch von der specifischen Wärme der Substanz ab. So wird z. B. an einem Wismuthstäbchen das Wegschmelzen der Wachsschicht rascher voranschreiten als an einem Eisenstäbchen, obgleich es die Wärme schlechter leitet als Eisen, weil seine specifische Wärme mehr als dreimal geringer ist, weil also das Wismuth einer mehr als dreimal geringeren Wärmemenge bedarf, um zur Schmelzungstemperatur des Wachses erwärmt zu werden, als das Eisen. 274

Um mit fraglichem Apparat die Leitungsfähigkeit verschiedener Metalle wenigstens annähernd genau vergleichen zu können, muss man warten, bis in allen Stäbchen ein stationärer Zustand eingetreten ist, bis also das Abschmelzen des Wachses nicht weiter vorschreitet. Es verhält

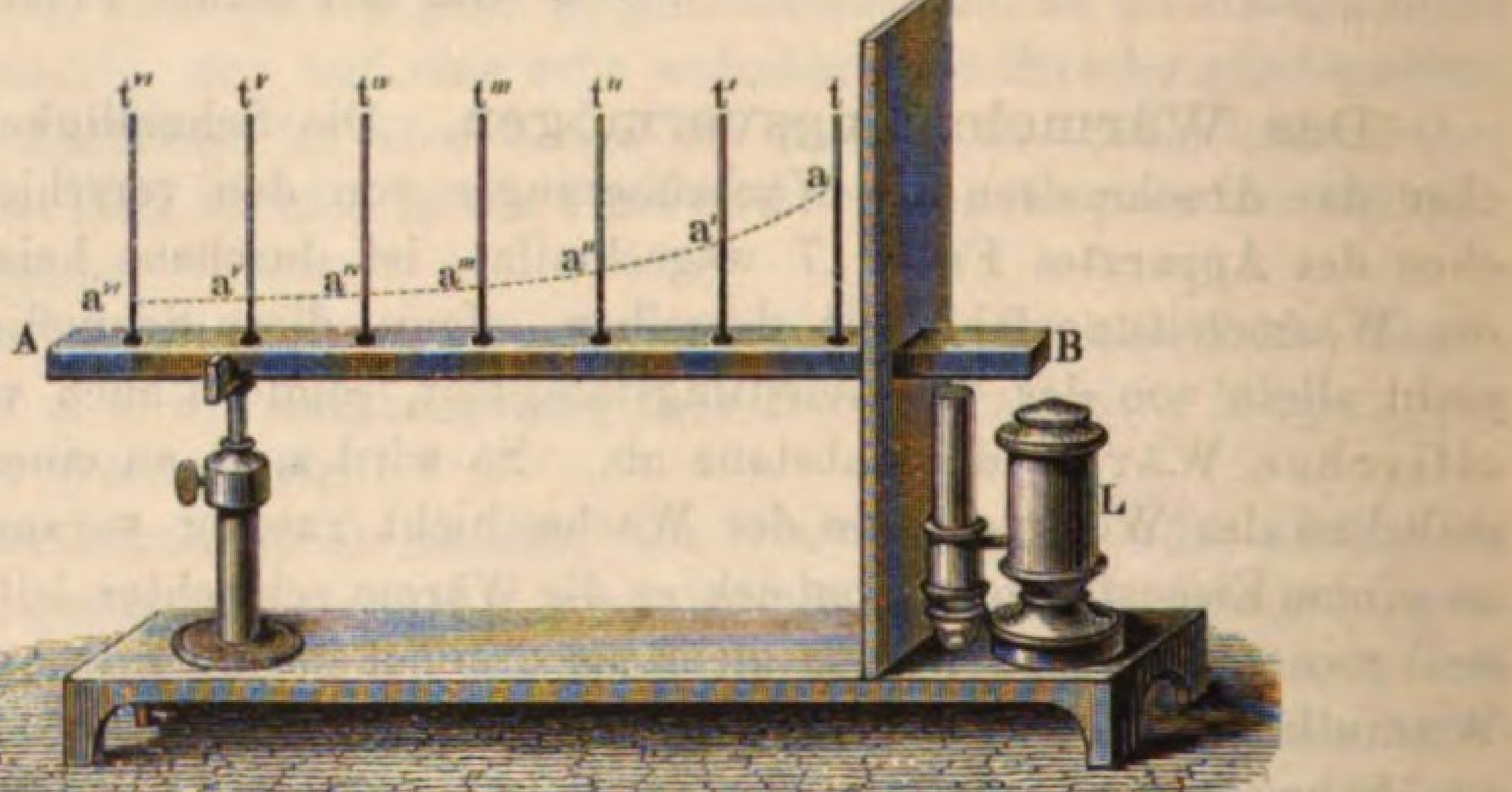
sich dann, wie sich aus den folgenden Betrachtungen ergeben wird, die Leitungsfähigkeit der verschiedenen Metalle wie die Quadrate der Stablängen, auf welchen das Wachs weggeschmolzen ist.

Wenn das eine Ende eines Metallstabes mit einer constanten Wärmequelle in Berührung gebracht wird, so erwärmt sich der ganze Stab allmälig mehr und mehr, doch wird seine Temperatur am anderen Ende nie so hoch steigen können als an der unmittelbar erwärmten Stelle. Wenn der Stab über eine gewisse Zeit hinaus mit der Wärmequelle in Berührung bleibt, so wird keine fernere Temperaturerhöhung mehr beobachtet, sondern es tritt ein Gleichgewichtszustand ein, bei welchem die Temperatur des Stabes mit der Entfernung von der Quelle immer geringer wird.

Denken wir uns den Stab seiner ganzen Länge nach durch Querschnitte in dünne Schichten zerlegt, so wird ein Gleichgewicht der Erwärmung stattfinden, wenn jede Schicht in jedem Augenblick eben so viel Wärme von der Wärmequelle her aufnimmt als sie wieder abgiebt. Nun aber giebt jede Schicht nicht nur Wärme an die nächstfolgende ab, sondern sie verliert auch seitwärts Wärme an die Umgebung; jede folgende Schicht des Metallstabes empfängt also offenbar weniger Wärme als die vorhergehende, und somit ist klar, dass die Erwärmung des Stabes an verschiedenen Stellen um so geringer sein wird, je weiter sie von der Wärmequelle entfernt sind.

Diese Abnahme der Temperatur mit der Entfernung von der Wärmequelle übersieht man sehr gut in folgendem von Despretz angestellten Versuche, Fig. 719. In einer vierseitigen Metallstange, an welcher jede Seite des Querschnitts 21 Millimeter betrug, waren von Decimeter zu

Fig. 719.



Decimeter Löcher von 6^{mm} Durchmesser und 14^{mm} Tiefe angebracht. Diese Löcher waren mit Quecksilber ausgefüllt, und in dieses waren die zur Beobachtung der Temperatur dienenden Thermometer eingesenkt. Das eine Ende des horizontal liegenden Metallstabes wurde durch eine

Weingeistlampe erwärmt. Es dauerte in der Regel zwei bis drei Stunden, bis die Temperatur des Stabes ihren Gleichgewichtszustand erreicht hatte. Ein Stab von **Kupfer** gab folgende Resultate:

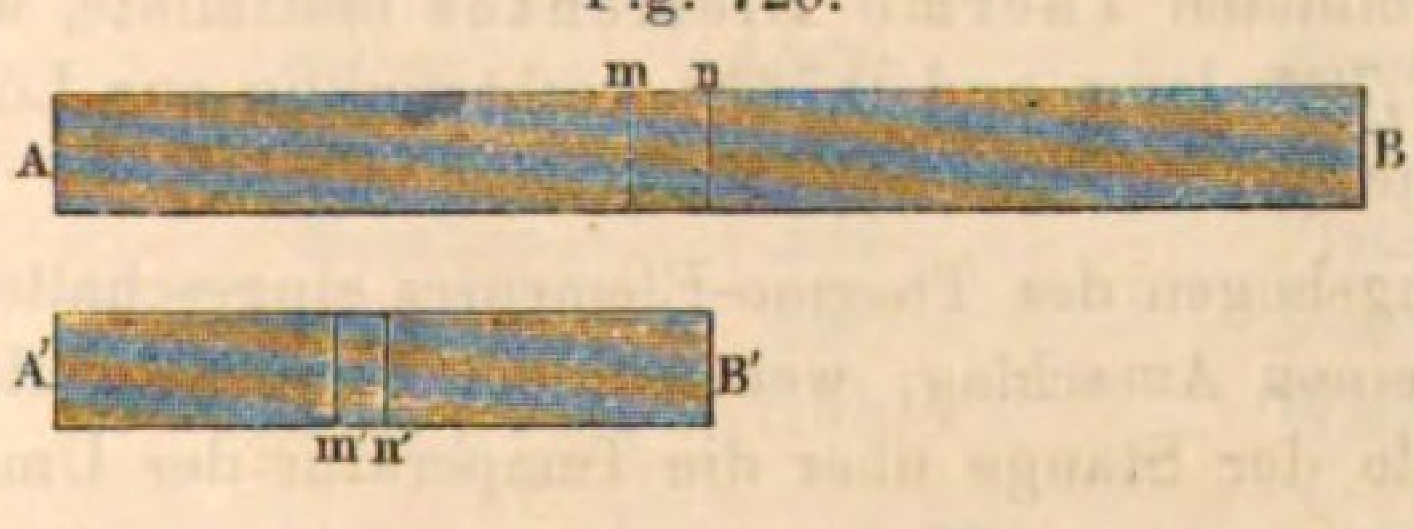
Entfernung der Thermometer von der Wärmequelle.	Erhöhung der Temperatur der Thermometer über die Temperatur der umgebenden Luft.
100mm	66,4°
200	46,3
300	32,6
400	24,5
500	18,6
600	16,2

Man sieht hieraus, dass der Temperaturüberschuss jedes folgenden Thermometers im Durchschnitt 1,325mal geringer ist als für das vorhergehende; wenn also die Entfernungen von der Wärmequelle in arithmetischer Reihe wachsen, so nehmen die entsprechenden Temperaturerhöhungen in geometrischer Reihe ab. Diese Regelmässigkeit der Temperaturabnahme findet jedoch bei schlechteren Wärmeleitern nicht mehr statt.

Nehmen wir an, es gäbe ein anderes Metall, welches die Wärme in einem solchen Verhältnisse schlechter leitet als das Kupfer, dass, wenn man mit einem Stabe von denselben Dimensionen denselben Versuch anstellt, alle Thermometer nur einen halb so grossen Temperaturüberschuss zeigten, so würde offenbar der Temperaturüberschuss eines jeden Querschnittes des schlechter leitenden Stabes gerade eben so gross sein, als der Temperaturüberschuss eines doppelt so weit von der Wärmequelle entfernten Querschnittes im Kupferstabe; und wenn man aus dem schlechter leitenden Metalle einen Stab machte, welcher bei sonst gleichen Dimensionen nur halb so lang ist als der Kupferstab, so würden die Enden beider Stäbe gleiche Temperatur zeigen.

In Fig. 720 möge AB den Kupferstab, $A'B'$ den schlechter leitenden Metallstab von halber Länge darstellen; wenn die Enden A und A' mit einer und derselben Wärmequelle in Berührung sind, so werden nach unserer Voraussetzung die Enden B und B' auch gleiche Temperatur haben, wenn die Temperatur an allen Stellen der beiden Stäbe stationär geworden ist.

Fig. 720.



Nehmen wir an, der Querschnitt n' liege halb so weit von B' als n von B, so werden auch die Temperaturen der Querschnitte n und n' gleich sein; weil aber nB noch einmal so gross ist als $n'B'$, so wird das Ende nB des Kupferstabes in gleicher Zeit doppelt so viel Wärme an die Umgebung ausstrahlen als das Endstück $n'B'$ des anderen Stabes; in glei-

chen Zeiten muss also dem Ende nB des Kupferstabes doppelt so viel Wärme zugeführt werden als dem Ende $n'B'$ des anderen Stabes. Wenn ferner die Länge mn doppelt so gross ist als $m'n'$, so werden auch die Schichten m im einen und m' im anderen Stabe gleiche Temperatur haben; und wenn in gleichen Zeiten durch das Stück mn des Kupferstabes dieselbe Wärmemenge hindurchginge wie durch das Stück $m'n'$ des anderen Stabes, so würde das Wärmeleitungsvermögen des Kupfers offenbar doppelt so gross sein als das des anderen Metalls. Nun geht aber durch das Stück mn des Kupferstabes in derselben Zeit doppelt so viel Wärme hindurch als durch das Stück $m'n'$ des anderen Stabes, weil ja das Ende nB des Kupferstabes in gleichen Zeiten doppelt so viel Wärme ausstrahlt als das Ende $n'B'$; folglich würde für unseren Fall die Wärmeleitungsfähigkeit des Kupfers viermal so gross sein als die des anderen Metalls.

Wenn wir diese Betrachtungsweise allgemeiner machen, so kommen wir zu dem Schlusse, dass für Stäbe verschiedener Metalle von gleichen Dimensionen die Wärmeleitungsfähigkeit sich verhält wie das Quadrat der Entfernungen von der Wärmequelle, in welchen man unter sonst gleichen Umständen gleiche Temperaturüberschüsse beobachtet.

Auf diese Weise hat Despretz folgende Verhältnisszahlen für das Wärmeleitungsvermögen der Metalle gefunden:

Gold	1000	Eisen	374
Silber	973	Zinn	303
Kupfer. . . .	898	Blei	180

Bei dieser von Despretz und früher schon von Biot in Anwendung gebrachten Beobachtungsmethode muss jedenfalls die häufige Unterbrechung der Continuität der Stangen durch die mit Quecksilber gefüllten Löcher die richtige Vertheilung der Wärme stören. Langberg (Pogg. Annal. LXVI, 1845) suchte diesen Uebelstand dadurch zu vermeiden, dass er die Temperatur des Stabes an verschiedenen Stellen mittelst eines aus Wismuth und Antimon gebildeten Thermo-Elementes bestimmte, welches mit einer kleinen (1,7^{mm} lang und 0,7^{mm}) rechtwinklig zur Löthfläche angefeilten Endfläche fest auf den Stab aufgesetzt wurde.

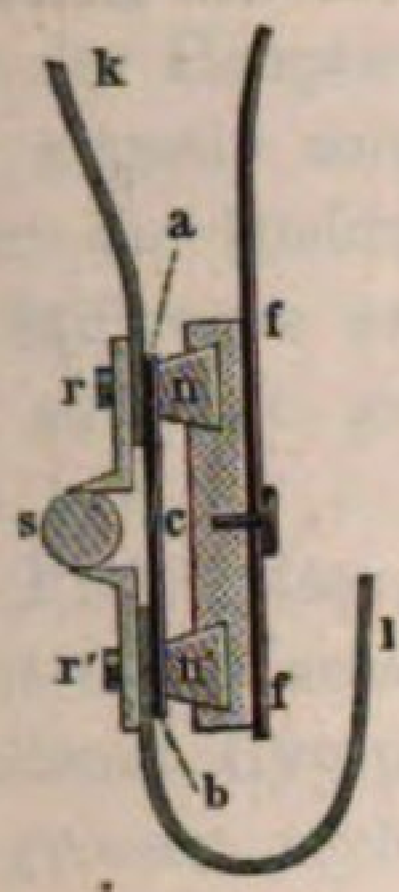
Ein in den Schliessungsbogen des Thermo-Elementes eingeschaltetes Galvanometer zeigte nun einen Ausschlag, welcher dem Temperaturüberschuss der berührten Stelle der Stange über die Temperatur der Umgebung proportional war.

Das eine Ende der Stange wurde bei den Langberg'schen Versuchen durch kochendes Wasser erwärmt.

Da es schwierig ist, bei dieser Vorrichtung eine stets gleiche Berührung zwischen der Stange und dem Thermo-Elemente zu erzielen, so haben Wiedemann und Franz dem Thermo-Element eine ganz andere, in Fig. 721

dargestellte Form gegeben. Auf einer Stahlfeder f ist mittelst einer kleinen Schraube ein Elfenbeinplättchen befestigt, in welchem zwei kleine Messingstücke n und n' eingelassen sind. Auf n ist die mit winkelförmigem Vorsprung versehene Elfenbeinplatte r, auf n' eine eben solche Elfenbeinplatte r' mittelst einer Schraube befestigt. Die zu untersuchende Stange s passt genau zwischen die Vorsprünge von r und r'. Zwischen den Messingstücken n und n' war das eigentliche Thermo-Element ab ausgespannt, welches aus zwei mit ihren abgeschrägten Enden bei c zusammengelötheten, nur 0,4^{mm} dicken Stücken von Eisen- und Neusilberdraht zusammengesetzt war. Auf den Enden des Thermo-Elementes waren ausserdem die aufgeschlitzten Enden der beiden Kupferdrähte k und l eingeklemmt, welche die Zuleitung des Stromes zum Multiplicator vermittelten. Man sieht wohl ein, wie dieses Thermo-Element mittelst der Feder f fest und stets genau in gleicher Weise an den Stab s angedrückt werden konnte.

Fig. 721.



Die Stäbe, mit welchen Wiedemann und Franz experimentirten, waren theils 5, theils 6,2^{mm} dick; um ihnen gleiches Ausstrahlungsvermögen zu verleihen, waren sämmtliche Stäbe galvanisch versilbert. Die Stellen, an welche das Thermo-Element angelegt wurde, folgten in Zwischenräumen von 2 zu 2 Zoll aufeinander.

Die Erwärmung des Stabes auf der einen Seite geschah gleichfalls durch Wasserdämpfe.

Der Apparat war so eingerichtet, dass sich die zu untersuchenden Stäbe entweder in einem lufterfüllten oder in einem luftleeren Raume befanden. Für beide Fälle ergab sich nahezu die gleiche Leitungsfähigkeit.

Nach diesen Versuchen ergeben sich folgende Verhältnisszahlen für die Leitungsfähigkeit verschiedener Metalle.

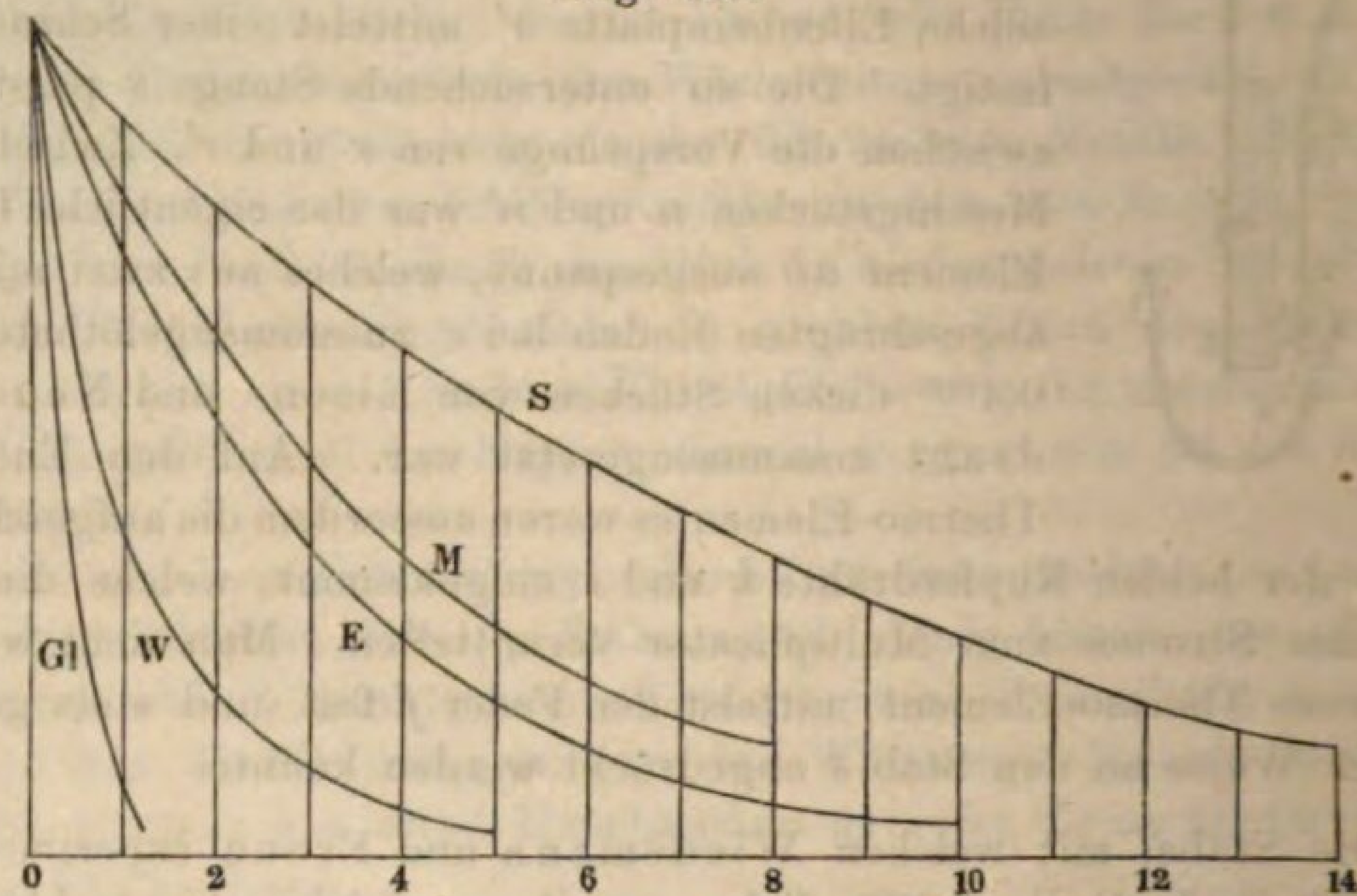
Silber	1000	Eisen	119
Kupfer . . .	736	Blei	85
Messing . . .	231	Platin	84
Zink	190	Neusilber . . .	63
Zinn	145	Wismuth . . .	18.

In Fig. 722 (a.f.S.) ist nach Wiedemann und Franz der Temperaturabfall einer Stange von Silber (S), Messing (M), Eisen (E), Wismuth (W) und Glas (Gl) dargestellt, wie er sich ergiebt, wenn das eine Ende sämmtlicher Stangen zu einer gleichen Maximaltemperatur erwärmt ist.

Nach Despretz wäre die Leitungsfähigkeit des Marmors 23, die des Porzellans 12 u. s. w. (Silber gleich 1000). Doch ist die Richtig-

keit dieser Werthe sehr zweifelhaft, weil das Gesetz der Temperaturabnahme in schlechten Leitern nicht mehr dasselbe zu sein scheint wie in besseren. Nach den Curven in Fig. 722 würde sich für die Leitungsfähigkeit des Glases ungefähr der Werth 3 ergeben.

Fig. 722.



275 **Wärmeleitung in krystallisirten Körpern.** Die ungleiche Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes in doppeltbrechenden Krystallen, die nach verschiedenen Richtungen ungleiche Ausdehnung durch Erwärmung, welche man in krystallisirten, nicht zum regulären System gehörigen Körpern wahrgenommen hat, liessen erwarten, dass die Leitungsfähigkeit solcher Körper für die Wärme gleichfalls nicht nach allen Richtungen dieselbe sei. Senarmont fand diese Vermuthung durch zahlreiche Versuche bestätigt (Pogg. Annal. LXXIV. und LXXV.). Die zu untersuchenden Krystallplatten waren mit einer dünnen Schicht von Wachs überzogen und wurden von der Mitte aus erwärmt. Die zweckmässigste Erwärmungsmethode bestand darin, dass die Platte in der Mitte mit einem kleinen Loche versehen, auf das etwas konische, gegen 1^{mm} dicke Ende eines gut leitenden Metalldrahtes (etwa eines Silberdrahtes) aufgesteckt und dann das andere horizontal umgebogene Ende dieses Drahtes durch eine Flamme erwärmt wird. Natürlich muss die Krystallplatte durch einen Schirm vor den Strahlen der Flamme geschützt sein. Die Platten hatten höchstens 38^{mm} Durchmesser und waren 1 bis 2^{mm} dick.

Wenn der Wachsüberzug der Platte schmilzt, so zieht er sich auf der Platte zurück, wie wenn er dieselbe nicht mehr benetzte, und bildet einen kleinen Wall, welcher die isotherme Linie der Schmelztemperatur des Wachses so scharf darstellt, dass man nach dem Erkalten die Dimensionen desselben messen kann.

Auf Platten von Metall, von Glas, von Krystallen, welche zum regulären Krystallsystem gehören und auf Platten optisch einaxiger Krystalle,

welche senkrecht zur Axe geschnitten sind, bildet dieser Wall einen Kreis; bei optisch einaxigen Krystallen aber, welche parallel mit der Axe geschnitten sind, bildet er eine Ellipse, deren grosse Axe meist in der Richtung der Hauptkrystallaxe liegt, mögen die Krystalle nun optisch positiv oder negativ sein. So fällt z. B. sowohl beim Kalkspath als auch beim Quarz die Richtung der grössten Leitungsfähigkeit für die Wärme mit der Säulenaxe zusammen. Die kleine Axe der besprochenen Ellipse verhält sich zur grossen beim Kalkspath wie 1 zu 1,12, beim Quarz wie 1 zu 1,31.

Für Platten, welche aus optisch zweiaxigen Krystallen gebildet sind, bildet der Wachswall fast immer eine Ellipse. Auf einer durch Spaltung erhaltenen Gypsplatte erhält man z. B. eine Ellipse, deren kleine Axe sich zur grossen verhält wie 1 zu 1,23. Solche Gypsplatten eignen sich besonders gut zur Wiederholung des Senarmont'schen Versuchs.

Dadurch, dass Platten aus demselben Krystall in verschiedenen Richtungen geschnitten wurden, war es möglich, die Gestalt der isothermen Flächen zu ermitteln. Das Hauptresultat der Untersuchung Senarmont's war, dass diese isothermen Flächen bei optisch zweiaxigen Krystallen Ellipsoide mit drei ungleichen Axen sind, welche bei optisch einaxigen Krystallen in Umdrehungsellipsoide, bei homogenen unkrystallisirten Körpern aber und bei Krystallen des regulären Systems in Kugeln übergehen.

De la Rive und de Candolle haben gefunden und Tyndall hat es durch neuere Versuche bestätigt (Tyndall, die Wärme als eine Art der Bewegung), dass das Holz in der Richtung der Fasern die Wärme weit besser leitet als rechtwinklig zu den Fasern. Die Baumrinde leitet die Wärme aber noch weit schlechter als das Holz in der Richtung der geringsten Leitungsfähigkeit.

Wärmeleitungsfähigkeit der Flüssigkeiten und Gase. 276

In den Flüssigkeiten verbreitet sich die Wärme meistens durch Strömungen, welche dadurch entstehen, dass die erwärmten Theilchen wegen ihrer geringeren Dichtigkeit immer in die Höhe steigen. Man kann diese Strömungen leicht sichtbar machen, wenn man Sägespäne ins Wasser wirft, welches sich in einem Glasgefässe befindet, und dann von unten her langsam erwärmt, Fig. 723 (a. f. S.). Man sieht, wie die Strömung in der Mitte aufwärts, an der Seite abwärts gerichtet ist. Wenn man eine Flüssigkeit von oben her erwärmt, so dass das hydrostatische Gleichgewicht nicht gestört wird, so kann sich die Wärme nur in derselben Weise durch die Masse der Flüssigkeit verbreiten, wie dies bei festen Körpern der Fall ist, nämlich durch Leitung, indem die Wärme von einer Schicht zur anderen übergeht. In solchen Fällen verbreitet sich die Wärme aber nur sehr langsam durch die Masse der Flüssigkeit, die Flüssigkeiten sind also sehr schlechte Wärmeleiter.

Um sich von der schlechten Leitungsfähigkeit der Flüssigkeiten zu

überzeugen, kann man den Fig. 724 abgebildeten Versuch anstellen. In die Seitenwand eines aus dünnem Blech verfertigten Gefässes wird mit-

Fig. 723.

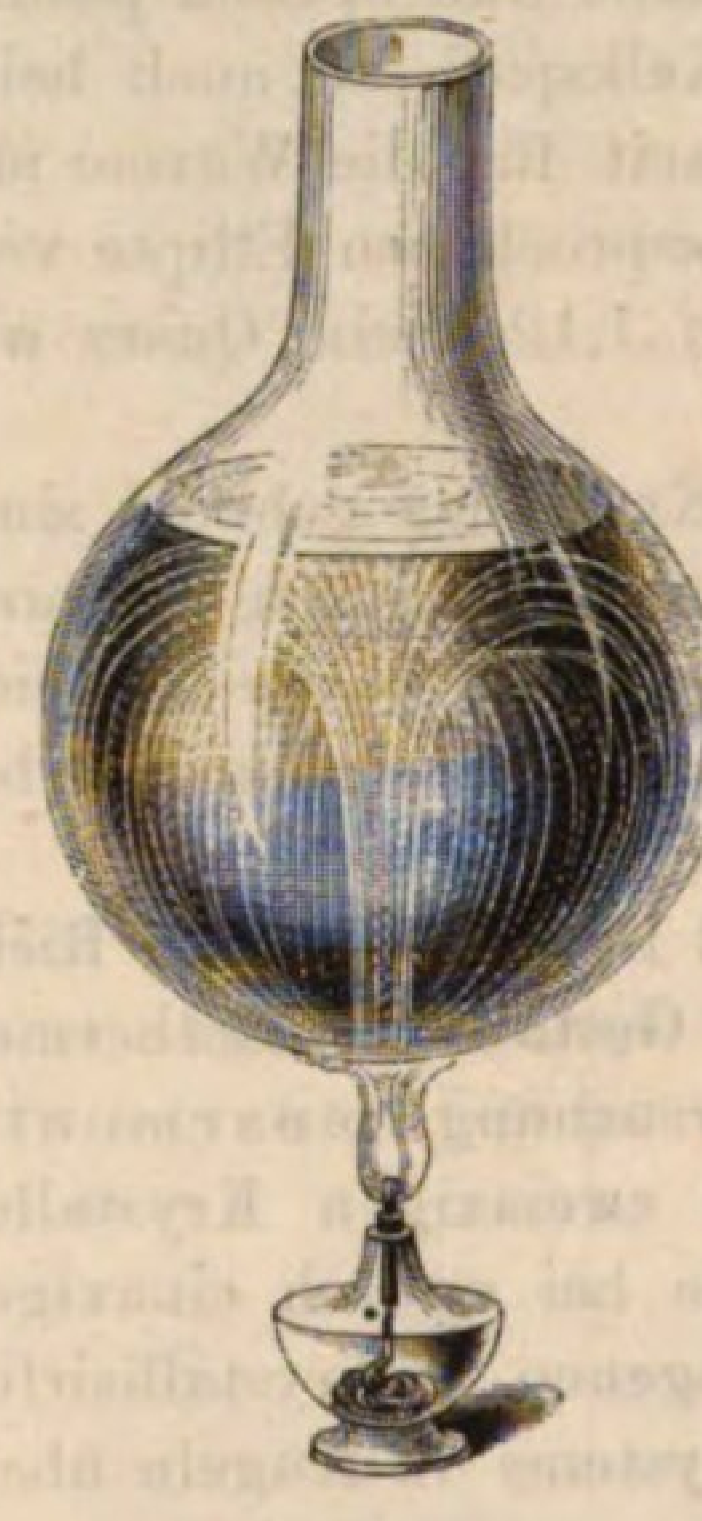
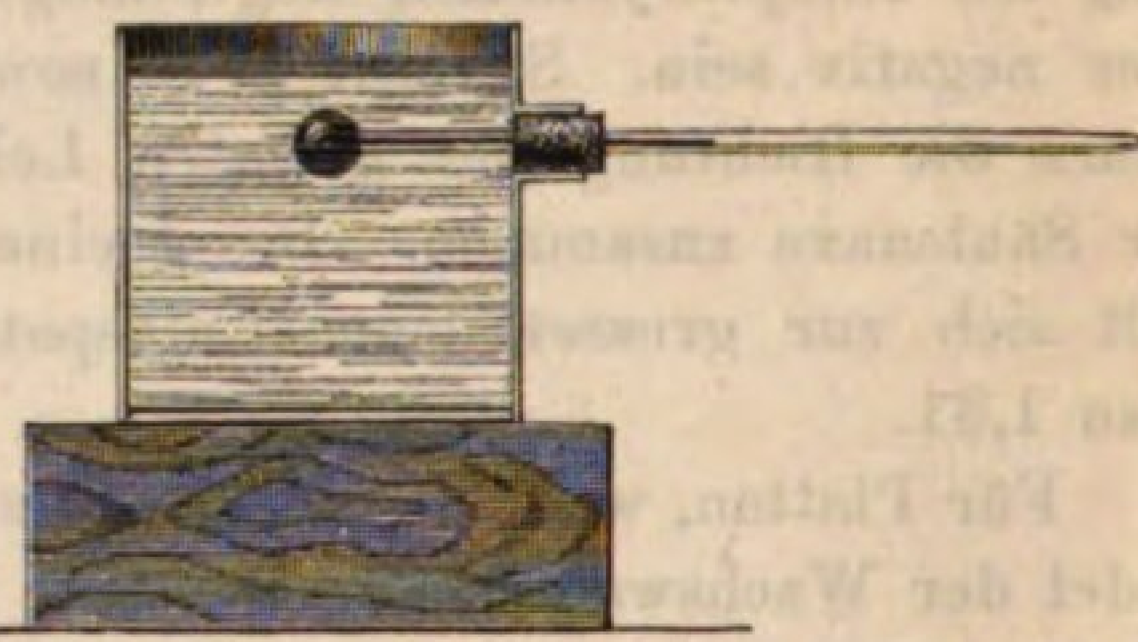


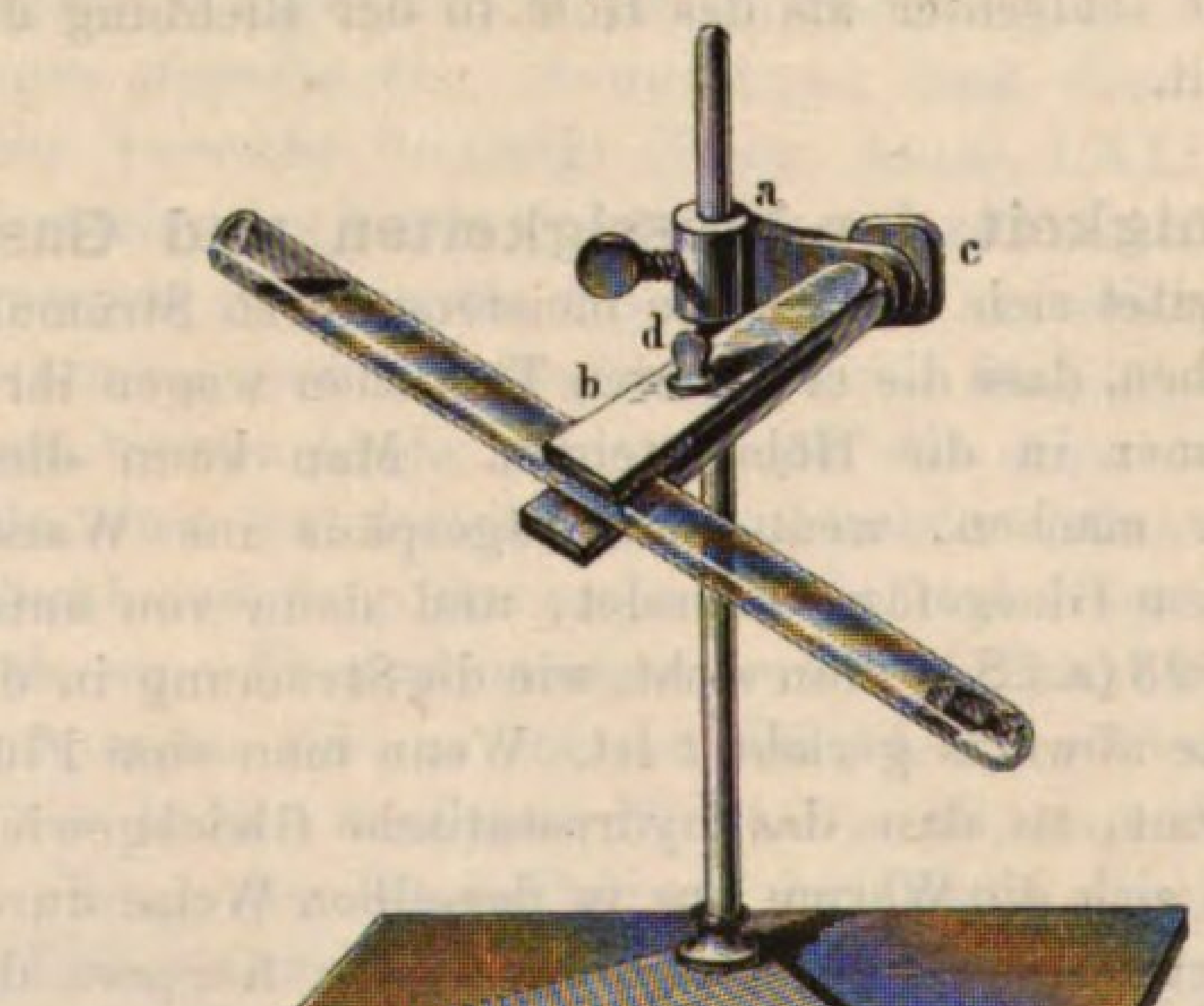
Fig. 724.



telst eines Korkes auf der Seite ein Thermometer eingesetzt und dann das Gefäss so weit voll Wasser gegossen, dass sich die Thermometerkugel 1 bis 2 Linien unter dem Wasserspiegel befindet. Giesst man nun heisses Oel auf das Wasser, oder auch etwas Weingeist, den man anzündet, so wird es doch eine geraume Zeit dauern, bis das Thermometer nur um 1^0 steigt.

Wenn man in ein mit möglichst kaltem Wasser gefülltes Reagenzröhrchen ein Stück Eis wirft, welches mit etwas Draht umwickelt ist, damit es zu Boden sinkt, so kann man in der oberen Hälfte des schräg gehaltenen Röhrchens, Fig. 725, das Wasser mittelst einer Weingeistlampe ins Kochen bringen, ohne dass unten ein merkliches Wegschmelzen des Eises stattfindet.

Fig. 725.



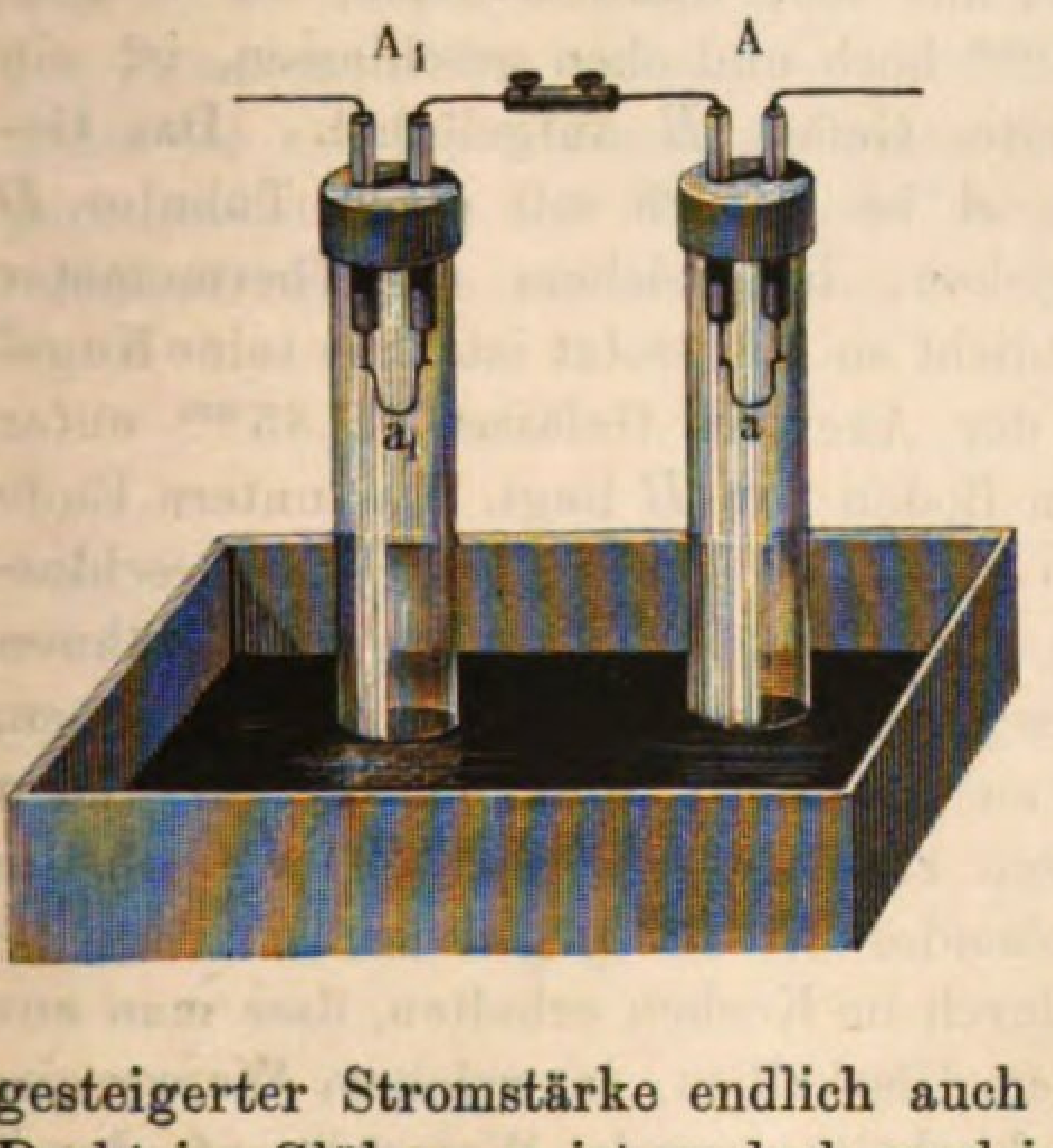
Despretz hat die Leitungsfähigkeit des Wassers bestimmt, indem er Wassersäulen von 1 Meter Höhe und 0,2 bis 0,4 Meter Durchmesser von oben her durch beständige Erneuerung von heissem Wasser erwärmte. Es dauerte ungefähr 30 Stunden, bis die Temperatur der Wassersäule an

allen Stellen stabil wurde. Aus diesen Versuchen folgt, dass die Wärmeleitungsfähigkeit des Wassers ungefähr 95mal geringer ist als die des Kupfers; in der obigen Tabelle müsste also die Leitungsfähigkeit des Wassers durch 9 bis 10 ausgedrückt werden. Wahrscheinlich sind aber diese Zahlen noch viel zu gross.

Die Luft und die Gase überhaupt sind ebenfalls sehr schlechte Wärmeleiter, doch lässt sich ihr Wärmeleitungsvermögen durch Thermometer, die man in verschiedenen Schichten der zu untersuchenden Luftmasse anbringt, wegen der Wärmestrahlung nur schwierig ermitteln. Dass jedoch die Gase überhaupt und die Luft insbesondere schlechte Wärmeleiter sind, geht daraus hervor, dass Körper, welche von allen Seiten von Luftschichten umgeben sind, nur sehr langsam erwärmt und erkaltet werden können, wenn nur der Wechsel der Luftschichten verhindert wird. Dadurch erklärt sich die Wirksamkeit der doppelten Fenster und der doppelten Thüren, um ein Zimmer warm zu halten. Das schlechte Leitungsvermögen lockerer Körper, wie Stroh, Wolle u. s. w., rührt grösstentheils daher, dass die zahllosen Zwischenräume mit Luft ausgefüllt sind.

Die Wärmeleitungsfähigkeit verschiedener Gase ist übrigens sehr ungleich, wie dies schon aus den von Dulong und Petit gemachten Beobachtungen hervorgeht, dass ein erhitzter Körper in Wasserstoffgas schneller erkaltet als in atmosphärischer Luft. Für die ungleiche Leitungsfähigkeit der Gase spricht auch die von Grove zuerst beobachtete Thatsache, dass ein in atmosphärischer Luft galvanisch glühender Platindraht bei gleicher Stromstärke in einer Atmosphäre von Wasserstoffgas dunkel bleibt. Zur Wiederholung dieses Versuchs kann man sich des Fig. 726 abgebildeten Apparates bedienen, welcher wohl ohne weitere Erklärung verständlich ist. Die eine der Glasröhren enthält Wasserstoff, die andere atmosphärische Luft oder Kohlensäuregas. Die Gase sind durch Quecksilber abgesperrt; a und a' sind zwei vollkommen gleich lange und gleich dicke Platindrähte. Wenn man einen allmälig verstärkten Strom durch diese Drähte hindurchsendet, so kommt zuerst der von Kohlensäure umgebene ins Glühen, während der andere ganz dunkel bleibt. Bringt man bei gesteigerter Stromstärke endlich auch den vom Wasserstoff umgebenen Draht ins Glühen, so ist es doch ungleich weniger intensiv als das Glühen des anderen Drahtes.

Fig. 726.



Die Wärmeleitung durch **Wasserstoffgas** hat **Magnus** (Pogg. Annal. Bd. CXII.) auf folgende Art nachgewiesen.

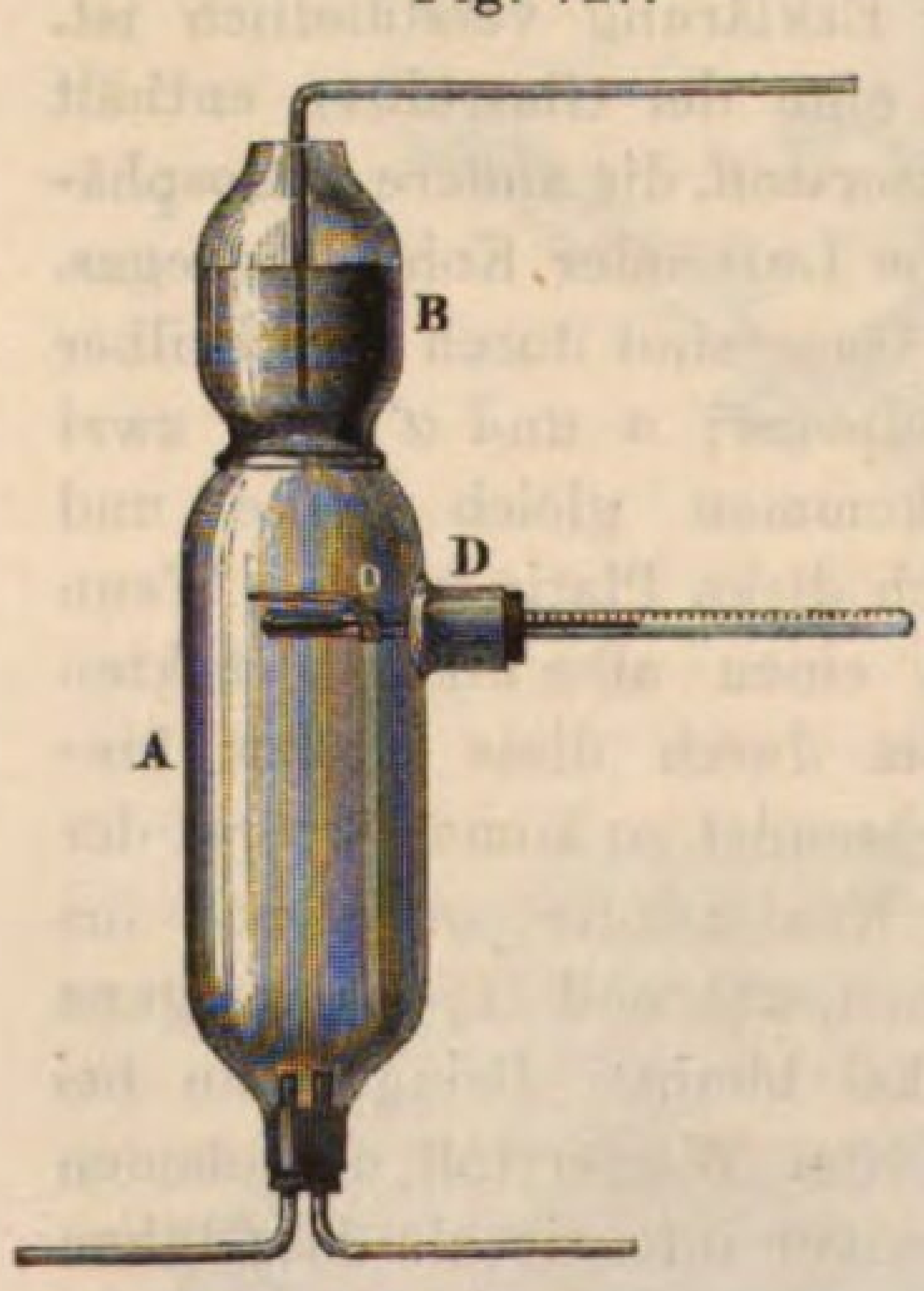
Ein 2 Centimeter weites und 10 Centimeter langes Glasrohr war unten zugeschmolzen und oben luftdicht durch einen Kork verschlossen. In der Mitte des Rohres befand sich das Gefäss eines Thermometers, dessen Röhre durch den Kork hindurchging. Um das Rohr mit verschiedenen Gasen füllen zu können, waren neben dem Thermometer noch zwei enge, mittelst Hähnen verschliessbare Glasröhren durch den Kork geführt. Diese Vorrichtung wurde nun in einen Glaskolben eingeführt, in welchem Wasser fortwährend im Kochen erhalten wurde, so dass sie ringsum von den Dämpfen des siedenden Wassers umgeben war. Es wurde nun die Zeit beobachtet, welche verging, bis das Thermometer von 20° C. auf 80° oder 90° C. gestiegen war, wenn das Innere des besagten Glasrohrs mit verschiedenen Gasen gefüllt war. Es ergab sich für

	von 20° bis 80°	von 20° bis 90°
Atmosphärische Luft . . .	3,5 Minuten	5,25 Minuten
Wasserstoff	1,0	1,4
Kohlensäure	4,25	6,3
Ammoniak	3,5	5,5

Die ungleich raschere Erwärmung des Thermometers, wenn dasselbe von **Wasserstoffgas** umgeben ist, kann nur von einer besseren Leitungsfähigkeit dieses Gases für die Wärme herrühren. Der Einfluss der Strömungen, welcher übrigens bei allen Gasen in gleicher Weise wirkt, ist hier auf ein Minimum reducirt, da das Rohr, welches die Gase enthält, ringsum gleichmässig erwärmt wird.

Eine zweite Reihe von Versuchen über die Wärmeleitung durch Gase hat **Magnus** in folgender Weise angestellt: Auf ein Gefäss *A*, Fig. 727, aus sehr dünnem Glase, 56mm weit, 160mm hoch und oben geschlossen, ist ein zweites Gefäss *B* aufgelöthet. Das Gefäss *A* ist seitlich mit einem Tubulus *D* versehen, in welchem ein Thermometer luftdicht so eingesetzt ist, dass seine Kugel in der Axe des Gefässes *A* 35mm unter dem Boden von *B* liegt. Das untere Ende von *A* ist mittelst eines Korkes geschlossen, durch welchen zwei enge mit Hähnen versehene Röhren gehen, die dazu dienen, *A* zu evacuiren und mit verschiedenen Gasen zu füllen. In das Gefäss *B* wurde kochendes Wasser gegossen und dasselbe dadurch im Kochen erhalten, dass man aus einem Glaskolben, in welchem Wasser siedend erhalten wurde, Wasserdämpfe durch ein Glasrohr einströmen liess.

Fig. 727.



Die Kugel des Thermometers war durch einen kleinen Schirm *o* gegen directe Bestrahlung von oben geschützt. Die ganze Vorrichtung war in einem weiteren Glasgefässe enthalten, welches Luft von 15⁰ C. enthielt.

Je nach der Gasart, welche in *A* enthalten war, erreichte das Thermometer 20 bis 40 Minuten nach dem Momente, in welchem das heisse Wasser in *B* eingegossen und die Dämpfe in dasselbe eingeleitet worden waren, seinen höchsten Stand, den es dann unverändert beibehielt.

In der folgenden Tabelle ist angegeben, wie hoch das Thermometer über die Temperatur der Luft (15⁰) stieg, welche das Gefäss *A* umgab, wenn dasselbe verschiedene Gase unter dem beigeschriebenen Druck enthielt.

Atmosphärische Luft . .	759,4^{mm}	9,6⁰ C.
	11,6	11,7
Sauerstoffgas	771,2	9,6
	10,0	11,6
Wasserstoffgas	760,0	13,0
	11,7	11,8
Kohlenoxydgas	760,0	9,5
	11,0	11,6

u. s. w.

Während der Dauer eines Versuchs wurden der Schirm und die Wände des Gefässes warm und beide theilten dem Thermometer wieder Wärme durch Strahlung und durch Leitung mit, die Temperatur, welche das Thermometer endlich annahm, war also eine complicirte Function der Leitung und der Strahlung, weshalb sie weder das eine noch das andere genau angiebt. Aus den angeführten Zahlen geht aber hervor, dass jedenfalls bei dem Wasserstoffgas eine Leitung von Schicht zu Schicht, wie bei den Metallen, stattfindet, einmal, weil bei atmosphärischem Drucke der Temperaturüberschuss des Thermometers für Wasserstoffgas bedeutend höher ist als für alle anderen Gase; dann aber auch, weil dieser Temperaturüberschuss für Wasserstoff mit der Dichtigkeit des Gases wächst, während bei allen anderen Gasen das Gegentheil stattfindet.

Fünftes Capitel.

Quellen der Wärme

und die

mechanische Wärmetheorie.

277 **Verbrennungswärme.** Zu den wichtigsten Wärmequellen gehören ohne Zweifel die chemischen Verbindungen, und unter diesen nimmt die Verbrennung, d. h. die unter Licht- und Wärmeentwickelung vor sich gehende rasche Oxydation (Verbindung mit Sauerstoff) der Körper die bedeutendste Stellung ein.

Versuche über die Verbrennungswärme wurden bereits von Lavoisier und Laplace, von Rumford und von Despretz angestellt. Eine sehr umsichtige Arbeit über diesen Gegenstand führte Dulong aus; die wichtigsten Resultate derselben wurden erst nach dem Tode dieses für die Wissenschaft leider zu früh verstorbenen Physikers publicirt (Pogg. Annal. Bd. XLV.); wir heben aus denselben, mit Uebergehung derjenigen, welche sich auf gasförmige und flüssige Körper beziehen und welche mit den Resultaten späterer Physiker nahe übereinstimmen, hier nur diejenigen hervor, welche sich auf die Verbrennung fester Körper beziehen.

Bei der Verbindung von 1 Liter Sauerstoff mit	wurden entwickelt
Eisen	6 216 Wärmeeinheiten
Zinn	6 509 "
Kupfer	3 529 "
Zink	7 577 "

wo unter einer Wärmeeinheit diejenige Wärmemenge zu verstehen ist, welche die Temperatur von 1 Gramm Wasser um 1^0 C. erhöht.

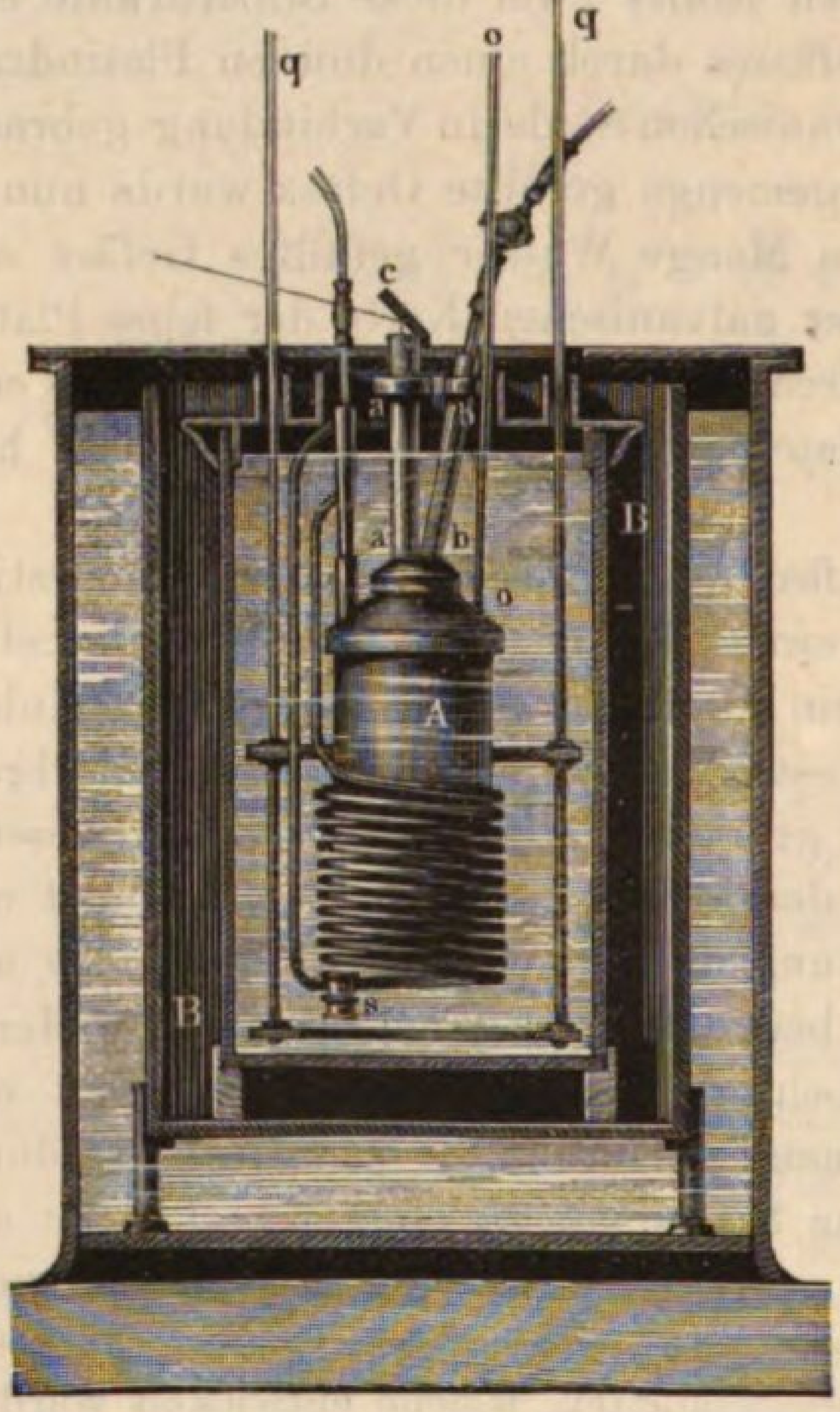
Andrews hat zur Ermittelung der Verbrennungswärme folgende Methode angewandt (Pogg. Annal. Bd. LXXV.): Das zu verbrennende Gas wurde mit der zu seiner Verbrennung nöthigen Menge Sauerstoff gemischt und mit diesem Gasgemisch ein cylindrisches Gefäss von Kupferblech gefüllt, welches 380 Cubikcentimeter Inhalt hatte. In dieses durch eine Schraube verschlossene Gefäss waren elektrisch isolirt zwei dicke Silberdrähte eingeführt, welche, im Inneren des Gefässes durch einen dünnen Platindraht verbunden, mit den Polen einer galvanischen Säule in Verbindung gebracht werden konnten. Das mit dem Gasgemenge gefüllte Gefäss wurde nun in ein grösseres mit einer gewogenen Menge Wasser gefülltes Gefäss eingesetzt, dann durch Schliessung der galvanischen Kette der feine Platindraht glühend gemacht und dadurch das Gasgemenge verpufft und endlich die Temperaturerhöhung bestimmt, welche dadurch im Wasser hervorgebracht worden war.

Um die Verbrennungswärme fester und flüssiger Körper zu bestimmen, wurden dieselben zunächst in ein Schälchen von Platin oder Porcellan gebracht und dann mit diesem in ein kupfernes Gefäss von 4 Liter Inhalt gehängt, welches mit reinem Sauerstoffgas gefüllt war. Diese Verbrennungskammer wurde sodann in ein grösseres Gefäss mit Wasser eingesetzt, der zu verbrennende Körper durch den galvanischen Strom entzündet und endlich nach vollendeter Verbrennung die Temperaturerhöhung des umgebenden Wassers gemessen. Nach beendigtem Versuche wurde die Menge des in der Verbrennungskammer noch übrigen Sauerstoffs bestimmt und aus der Quantität des verschwundenen Sauerstoffs die Quantität der durch die Verbrennung oxydirten Substanz berechnet. Die folgende Tabelle enthält die wichtigsten Resultate der von Andrews angestellten Versuche.

Namen der verbrannten Substanz.	Wärmeeinheiten, welche entwickelt wurden durch die Verbindung von	
	1 Gramm Substanz mit Sauerstoff.	der Substanz mit 1 Gramm Sauerstoff.
Wasserstoffgas	33 808	4 226
Kohlenoxydgas	2 431	4 255
Sumpfgas	13 108	3 277
Oelbildendes Gas	11 942	3 483
Kohle	7 678	2 879
Schwefel	2 307	2 307
Alkohol (0,796 specif. Gew.) . .	6 850	3 282
Phosphor	5 747	4 509
Zink	1 301	5 366
Eisen	1 181	4 134
Zinn	—	4 230
Kupfer	600	2 394

Die umfassendste Arbeit über Verbrennungswärme haben Favre und Silbermann ausgeführt (Annal. de chim. et de phys. Sér. III. Tom. 34). Das Calorimeter, dessen sie sich bedienten, war dem von Dulong angewandten ähnlich: das Wesentlichste des Apparates ist in Fig. 728 dargestellt. Die Verbrennungskammer A befindet sich in einem cylindrischen mit Wasser gefüllten Gefässe. Das Rohr o geht im Inneren der Verbrennungskammer fast bis auf den Boden derselben herab und dient, um den zur Verbrennung nöthigen Sauerstoff zuzuführen. In dem Deckel der Verbrennungskammer sind zwei Röhren a und b eingesetzt. Die eine a ist durch eine starke Glasplatte geschlossen, durch welche hindurch man den Gang der Verbrennung beobachten kann; damit dies auch von der Seite her geschehen könne, ist dicht über dem Rohre a ein kleiner Spiegel c angebracht. In das Rohr b wird dasjenige Rohr eingeführt, durch welches die zu verbrennenden Gase in die Verbrennungskammer einströmen. Das Rohr b wird verschlossen, wenn feste oder flüssige Körper verbrannt werden sollen.

Fig. 728.



$\frac{1}{5}$

Für Flüssigkeiten und feste Körper werden je nach ihrer Individualität verschiedene Verbrennungsvorrichtungen angewandt. Für die meisten Flüssigkeiten z. B. das Fig. 729 dargestellte Lämpchen: ein an dem Deckel der Verbrennungskammer zu befestigender Metallring trägt zwei Platindrähte, an welchen dann das Lämpchen hängt. Zur Verbrennung des Schwefels dient das Porcellanschälchen Fig. 730; zur Verbrennung der Kohle die Platinhülse Fig. 731 u. s. w. Der Boden dieses letzteren mit Kohlenstückchen gefüllten Behälters ist durchlöchert und bildet also gleichsam den Rost des kleinen Herdes.

Fig. 729.



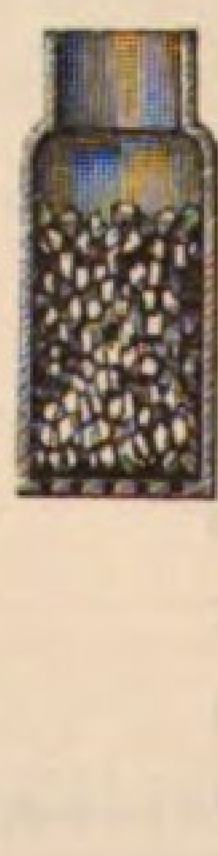
$\frac{2}{5}$

Fig. 730.



$\frac{2}{5}$

Fig. 731.



$\frac{2}{5}$

Die Entzündung geschieht ausserhalb des Apparates. Der brennende Körper wird rasch in die Verbrennungskammer eingeführt und diese dann in das Calorimeter eingesetzt. Die gas-

förmigen Producte entweichen durch ein Schlangenrohr, welches verschlossen wird, wenn solche nicht gebildet werden.

An dem Stäbchen *q* sind zwei Ringe von Metallblech befestigt, deren innerer Durchmesser gross genug ist, um sie über das Schlangenrohr sammt seinen Zuleitungsröhren zu schieben. Diese ringförmigen Scheiben wurden auf- und abbewegt, um eine gleichförmige Vertheilung der Wärme im Kühlwasser zu erzielen.

Um zu verhindern, dass das Calorimeter von aussen Wärme empfängt, oder nach aussen Wärme verliert, ist dasselbe in ein zweites cylindrisches Gefäss *B* eingesetzt und der Zwischenraum zwischen beiden mit einem schlechten Leiter ausgefüllt. Das Gefäss *B* stand endlich in einem dritten mit Wasser von der Temperatur der Umgebung gefüllten Behälter.

Die Temperatur des Kühlwassers im Calorimeter wurde vor dem Beginn und nach der Beendigung der Verbrennung abgelesen und daraus dann die Zahl der Wärmeeinheiten (Calorien) berechnet, welche durch Verbrennung von 1 Gramm der Substanz entwickelt werden. Auf diese Weise ergab sich, dass

durch Verbrennung von 1 Gramm

Wasserstoffgas	34 462	Wärmeeinheiten
Kohlenoxydgas	2 403	„
Holzkohle	8 080	„
Schwefelkohlenstoff	3 400	„

entwickelt werden.

Der hier angegebene Werth für die Verbrennungswärme der Kohle ist bedeutend grösser, als ihn frühere Beobachter gefunden haben. Es rührt dies daher, dass die Kohle nicht vollständig zu Kohlensäure, sondern zum Theil nur zu Kohlenoxydgas verbrennt. Favre und Silbermann haben nun die Menge des neben der Kohlensäure gebildeten Kohlenoxydgases bei jedem Versuche gemessen und die Wärmemenge, welche durch Verbrennung dieses Kohlenoxydgases frei werden würde, zu der im Calorimeter wirklich beobachteten hinzuzählend, das obige Resultat gefunden.

Bei Verbrennung allotroper Modificationen derselben Substanz werden nicht gleiche Wärmemengen frei. So ist die Verbrennungswärme für

		Specif. Wärme.
Holzkohle	8080 . . .	0,2415
Gaskohle	8047 . . .	0,2036
Natürlichen Graphit .	7797 . . .	0,2019
Graphit aus Hochöfen .	7762 . . .	0,1970
Diamant	7770 . . .	0,1469

Die letzte Columne dieser kleinen Tabelle enthält die specifische Wärme der verschiedenen allotropen Verbindungen des Kohlenstoffs nach Regnault; man sieht, dass ihre Verbindungswärme mit ihrer specifischen Wärme abnimmt.

Für verschiedene molekulare Zustände des Schwefels fanden Favre und Silbermann folgende Werthe der Verbrennungswärme:

Schwefel, 7 Jahr vor dem Versuch geschmolzen . .	2 217
„ aus Schwefelkohlenstoff krystallisirt . . .	2 226
„ natürlicher, schön krystallisirt	2 221
„ geschmolzen und mehrere Stunden nachher verbrannt	2 260

278 **Verbrennungswärme der Kohlenwasserstoff-Verbindungen.** Favre und Silbermann haben die Verbrennungswärme einer grossen Reihe von Körpern bestimmt, welche aus Kohlenstoff und Wasserstoff oder aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff zusammengesetzt sind. Für Körper, welche der chemischen Formel $(C_2H_2)_n$ entsprechen, fanden die genannten Physiker folgende Resultate:

Durch die Verbrennung von 1 Gramm

C_4H_4, ölbildendem Gas, wurden entwickelt			11 858 W.-E.
$C_{10}H_{10}$, Amilen,	„	„	11 401 „
$C_{20}H_{20}$, Paramilen,	„	„	11 363 „
$C_{40}H_{40}$ Metamilen,	„	„	10 928 „

Je höher also in der Formel $(C_2H_2)_n$ der Factor n steigt, desto mehr nimmt die Verbrennungswärme der Verbindung ab.

Nach einem von Dulong aufgestellten Gesetze soll die Verbrennungswärme eines zusammengesetzten Körpers gleich sein der Summe der Wärmemengen, welche die Verbrennung seiner Bestandtheile für sich allein liefern würde. Für ölbildendes Gas ist dies in der That der Fall. 1 Gramm ölbildendes Gas ist zusammengesetzt aus $^6/_7$ Gramm Kohlenstoff und $^1/_7$ Gramm Wasserstoff, es entwickelt aber die Verbrennung von

$^6/_7$ Grm. Kohlenstoff . . $^6/_7 \cdot 8\,080 = 6\,926$ W.-E.
$^1/_7$ Grm. Wasserstoff . . $^1/_7 \cdot 34\,462 = 4\,923$ „

Summa 11 849 W.-E.,

was mit der durch den Versuch gefundenen Zahl 11 858 sehr nahe übereinstimmt. Wäre das angeführte Dulong'sche Gesetz allgemein gültig, so müssten alle nach der Formel $(C_2H_2)_n$ zusammengesetzten Körper gleiche Verbrennungswärme haben, was den obigen Beobachtungsresultaten zufolge nicht der Fall ist.

Die Verbrennung von 1 Gramm

C_4H_5O, Schwefeläther, entwickelte . .	9 028 W.-E.
$C_{10}H_{11}O$, Amyläther, „ . . .	10 188 „

Die Verbrennung der verschiedenen Alkoholarten gab folgende Resultate:

$C_2H_2 + 2HO$, Holzgeist . . .	5 307 W.-E.
$2(C_2H_2) + 2HO$, Weingeist . . .	7 184 „
$5(C_2H_2) + 2HO$, Amylalkohol . .	8 959 „
$16(C_2H_2) + 2HO$, Aethalalkohol . .	10 629 „

Von den Säuren, welchen die Formel $n(C_2H_2) + O_4$ entspricht, wurden unter anderen untersucht:

$C_2H_2 + O_4$,	Ameisensäure	2 091	W.-E.
$2(C_2H_2) + O_4$,	Essigsäure	3 505	„
$4(C_2H_2) + O_4$,	Buttersäure	5 647	„
$5(C_2H_2) + O_4$,	Valeriansäure . . .	6 439	„

Mit diesen Säuren sind eine Reihe von zusammengesetzten Aetherarten isomer, für welche sich folgende Werthe der Verbrennungswärme ergaben:

$2(C_2H_2) + O_4$,	Ameisenholzäther . .	4 197	W.-E.
$4(C_2H_2) + O_4$,	Essigäther	6 293	„
$5(C_2H_2) + O_4$,	Butterholzäther . . .	6 798	„

Vergleicht man diese Zahlen mit den vorhergehenden, so ergiebt sich, dass die Verbrennung verschiedener Körper gleicher Zusammensetzung keineswegs gleiche Wärmemengen entwickelt.

Thierische Wärme. Die Temperatur der Blutwärme aller Thiere ist fast immer von der Temperatur des Mittels verschieden, in welchem sie leben. Die Thiere der Polarländer sind stets wärmer als das Eis, auf welchem sie leben, in den Aequatorialgegenden aber sind sie oft kälter als die glühende Luft, welche sie einathmen. Die Vögel haben nie die Temperatur der Luft, die Fische nie die Temperatur des Wassers, von welchem sie umgeben sind; der thierische Körper hat also seine eigenthümliche Wärme, er muss sie also auch fortwährend erzeugen können. Wir wollen nun der Reihe nach folgende Fragen näher untersuchen: 1) Welches ist die Temperatur des Thierkörpers? 2) Welches sind die Wärmequantitäten, welche er in einer gegebenen Zeit erzeugen kann? 3) Wodurch wird diese Wärme erzeugt? 279

Die innere Wärme des Menschen scheint für alle Organe dieselbe, und zwar derjenigen gleich zu sein, auf welche ein kleines Thermometer steigt, wenn man die Kugel unter die Zunge bringt und den Mund schliesst, bis es nicht mehr steigt; diese Temperatur ist 37° C. Alter und Klima, Gesundheit oder Krankheit können diese Temperatur nur unbedeutend ändern. John Davy hat auf seiner Reise von England nach der Insel Ceylon in dieser Beziehung eine Reihe merkwürdiger Beobachtungen gemacht. Indem er unter verschiedenen Breiten die Temperatur mehrerer Leute der Schiffsmannschaft bestimmte, fand er, dass sie in der heissen Zone allerdings etwas stieg; diese Temperaturzunahme war aber unbedeutend, sie betrug nicht ganz 1°. Davy bestimmte auch die Temperatur der Eingeborenen von Ceylon, der Hottentotten, der Neger auf Madagascar und Mozambique, der Albinos, der Malaien, der Buddhapriester, welche nur Gemüse, und der Vaidas, welche nur Fleisch essen. Alle diese Temperaturen waren nur wenig verschieden; die niedrigste von allen war die von zwei Hottentotten auf dem Cap der guten Hoffnung, sie betrug 35,8°; die höchste war die von zwei europäischen zu Colombo geborenen Kindern, von denen das eine 8, das andere 12 Jahre alt war, sie betrug 38,9°.

Die folgende Tabelle enthält die Resultate der von **Davy** an Thieren angestellten Beobachtungen:

Namen der Thiere.	Ihre Temperatur.	Temperatur der Umgebung.	Beobachtungsort.
	Säugethiere:		
Affe	+ 39,7° C.	30° C.	Colombo
Gemeiner Hase	37,8	26,5	„
Tiger	37,2	26,5	„
Hund	39,0	26,5	Candy
Gemeine Katze	38,3	15	London
„ „	38,9	26	Candy
Pferd (arabische Race) .	37,5	26	„
Ochse	38,9	Im Sommer	Edinburg
„	38,9	26	Candy
Elephant.	37,5	26,7	Colombo
	Vögel:		
Habicht	37,2	25,3	Colombo
Papagey	41,1	24	Candy
Taube	42,1	15,5	London
Gemeines Huhn	42,5	4,5	Edinburg
„ „	43,3	25,5	Colombo
Gans	41,7	25,5	„
	Kaltblütige Thiere:		
Schildkröte	28,9	26	Im Meere 2° 27′ n. B.
Geometrische Schildkröte	16,9	16	Cap d. guten Hoffnung
Schlange	32,2	28,3	Colombo
Hayfisch	25	23,7	Im Meere 8° 23′ n. B.
Forelle	14,4	13,3	Edinburg
Auster	27,8	27,8	Colombo

Man sieht aus dieser Zusammenstellung, dass die Blutwärme der Vögel grösser ist als die aller anderen Thiere; die Säugethiere nehmen den zweiten Rang ein. Bei diesen beiden Thierclassen ist die Blutwärme von der Temperatur der Umgebung unabhängig, bei den übrigen Thierclassen aber, den Amphibien, Fischen u. s. w., ist die Temperatur des Körpers nur wenig von der Temperatur der Umgebung unterschieden.

Welches ist nun die Quelle der thierischen Wärme? Die Luft, welche wir einathmen, wird in derselben Weise verändert wie die Luft, welche zur Verbrennung gedient hat; der Sauerstoff der Luft wird in Kohlensäure

verwandelt, es findet also im Körper eine förmliche Verbrennung statt. Seit Lavoisier diese Entdeckung gemacht hatte, war die Quelle der thierischen Wärme kein Geheimniss mehr.

Durch die Speisen wird dem Körper der Kohlenstoff zugeführt, welcher sich im Körper mit dem Sauerstoffe der eingeathmeten Luft verbindet; durch die Oxydation des Kohlenstoffs im Thierkörper muss aber nothwendig dieselbe Wärmemenge erzeugt werden, wie bei der schnellen Verbrennung des Kohlenstoffs.

In einer kalten Umgebung verliert der Mensch und das Thier stets mehr Wärme als in wärmerer; damit nun die Blutwärme bei den Säugethieren und Vögeln von der Temperatur der Luft unabhängig erhalten werde, muss nothwendig im Körper mehr Wärme erzeugt werden, wenn ihm in jedem Augenblicke eine grössere Wärmemenge entzogen wird, wenn er also in kalter Luft lebt, als wenn er in wärmerer Umgebung nur wenig Wärme nach aussen hin abgiebt. Um aber in gleichen Zeiten mehr Wärme erzeugen zu können, muss dem Körper mehr Kohlenstoff zugeführt werden, durch dessen Oxydation die Wärme erzeugt wird, wie man ja auch bei kaltem Wetter mehr Brennmaterial im Ofen verbrennen muss, als bei gelinder Kälte, um ein Zimmer auf einer bestimmten constanten Temperatur zu erhalten. Dadurch erklärt sich nun, warum der Nordländer mehr Speisen und besonders mehr kohlenstoffhaltige Speisen zu sich nehmen muss, als der Bewohner der heissen Zone.

Die Wärmemenge, welche ein Thier in einer gegebenen Zeit entwickelt, hat Dulong auf folgende Weise zu bestimmen gesucht. Das Thier wurde in einen Kasten von dünnem Kupferblech gebracht, welcher in eine grosse Masse Wasser eingetaucht war. Die durch das Thier erzeugte Wärme wurde durch die Temperaturerhöhung des Wassers bestimmt; die zum Athmen nöthige Luft wurde durch ein Gasometer zugeführt, und die Producte der Respiration wurden gesammelt und analysirt. Ein solcher Versuch dauerte ungefähr zwei Stunden; es zeigte sich, dass die ausgeathmete Luft feuchter war, dass ein Theil des Sauerstoffs durch Kohlensäure ersetzt und dass ausserdem noch ein Theil Sauerstoff verschwunden war. Der Stickstoffgehalt der Luft hatte keine Veränderung erlitten. Nimmt man nun an, dass der Sauerstoff, welcher in Kohlensäure verwandelt worden ist, sich wirklich beim Respirationsprocesse mit Kohlenstoff verbunden hat; nimmt man ferner an, dass der verschwundene Sauerstoff sich mit Wasserstoff zu Wasser verbunden hat, so kann man leicht die Wärmemenge berechnen, welche auf diesem Wege entwickelt wird; dieser Rechnung zufolge werden aber durch die Respiration nur 8 bis 9 Zehntel der Wärme erzeugt, welche das Thier an das Wasser abgegeben hat; es scheint demnach die Respiration nicht die einzige Quelle der thierischen Wärme zu sein.

Liebig hat aber gezeigt, dass der angeführte Versuch zu diesem Schlusse nicht berechtigt; bei der grossen Differenz zwischen der Temperatur des Wassers und der des Thieres ist der Wärmeverlust freilich grösser, als man dem verbrauchten Sauerstoffe nach erwarten sollte; man muss aber bedenken,

dass bei der sehr kalten Umgebung die freie Bewegung des Thieres gehindert war, so dass es durch vermehrte Bewegung das Athmen nicht gehörig beschleunigen konnte, dass es sich also in einem unnatürlichen Zustande befand, in welchem es nothwendig frieren musste, und den es auf die Dauer unmöglich hätte ertragen können.

280 **Wärmeentwickelung bei Bildung von Chlorverbindungen.** Die bei der Bildung von Chlorverbindungen frei werdende Wärme hat Andrews in ähnlicher Weise bestimmt, wie die Verbrennungswärme. In Betreff der Anordnung des Versuchs auf die Originalabhandlung verweisend (Pogg. Annal. Bd. LXXV.), wollen wir hier nur die Resultate derselben anführen.

Namen der Substanz.	Wärmeeinheiten, welche entwickelt werden durch die Verbindung	
	von 1 Gramm Substanz mit Chlor.	der Substanz mit 1 Gramm Chlor.
Kalium	2 655	2 943
Zinn	1 079	897
Antimon	707	860
Zink	1 529	1 427
Kupfer	961	859
Eisen	1 745	921

Mit demselben Calorimeter, welches gedient hatte, um die Verbrennungswärme gasförmiger Körper zu bestimmen, ermittelten Favre und Silbermann auch die bei der Verbindung von Wasserstoff und Chlor frei werdende Wärme. Sie fanden, dass die Wärme, welche bei Verbindung von 1 Gramm Wasserstoffgas mit 35,5 Gr. Chlorgas zu Chlorwasserstoffsäure

23 684 Wärmeeinheiten

beträgt. Auf indirectem Wege, nach einer Methode, welche in einem der nächsten Paragraphen besprochen werden soll, fanden Favre und Silbermann, dass die Wärmeentwickelung bei Verbindung von

1 Gramm			
Zink mit Chlor	1 547	(zu wasserfreien Chlorüren)	
Kupfer „ „	923		
Eisen „ „	1 775		
Silber „ „	322		
Kalium „ „	2 588		
Natrium „ „	4 123		

Calorien (Wärmeeinheiten) beträgt.

Verbindungswärme von Basen mit Säuren. Die Wärme, 281
welche entwickelt wird, wenn Säuren sich mit Basen zu neutralen Salzen verbinden, haben schon Hess und Andrews zum Gegenstande ihrer Untersuchungen gemacht (Pogg. Annal. Bd. LII, LIV, LIX, LXVI); die neueste und umfassendste Arbeit über die Verbindungswärme von Basen und Säuren haben jedoch Favre und Silbermann ausgeführt (Annal. de chim. et de phys. Sér. III, T. 36, 37). Sie bedienten sich dabei des Fig. 732 dargestellten Quecksilber-Calorimeters, welches auch noch bei manchen anderen thermischen Untersuchungen gute Dienste leisten kann. Der ungefähr 1 Liter haltende mit Quecksilber gefüllte Glasballon *A* hat drei Oeffnungen; in die eine derselben ist ein unten geschlossenes Rohr *m* von dünnem Eisen- oder Platinblech eingesetzt. Ein Glasstäbchen *s* hindert, dass die Röhre *m* durch das Quecksilber im Gefässe *A* gehoben wird. In die zweite Oeffnung ist ein dem grössten Theile seiner Länge nach horizontal laufendes Thermometerrohr *t* eingesetzt; der Stand der Quecksilbersäule in diesem Rohre wird auf einer in Millimeter getheilten Scala abgelesen. Durch die dritte Oeffnung ragt von oben her ein Stahlstempel in das Quecksilber des Gefässes *A* herab, welcher an seinem oberen Ende mit Schraubenwindungen versehen ist, so dass man ihn durch Drehen dieser Schraube nach Belieben tiefer in das Gefäss *A* hineinschieben oder ihn mehr herausziehen kann, wodurch man den Stand der Quecksilbersäule im Thermometerrohre *t* so reguliren kann, dass dieselbe beim Beginne des Versuches genau auf dem Nullpunkte der Scala steht.

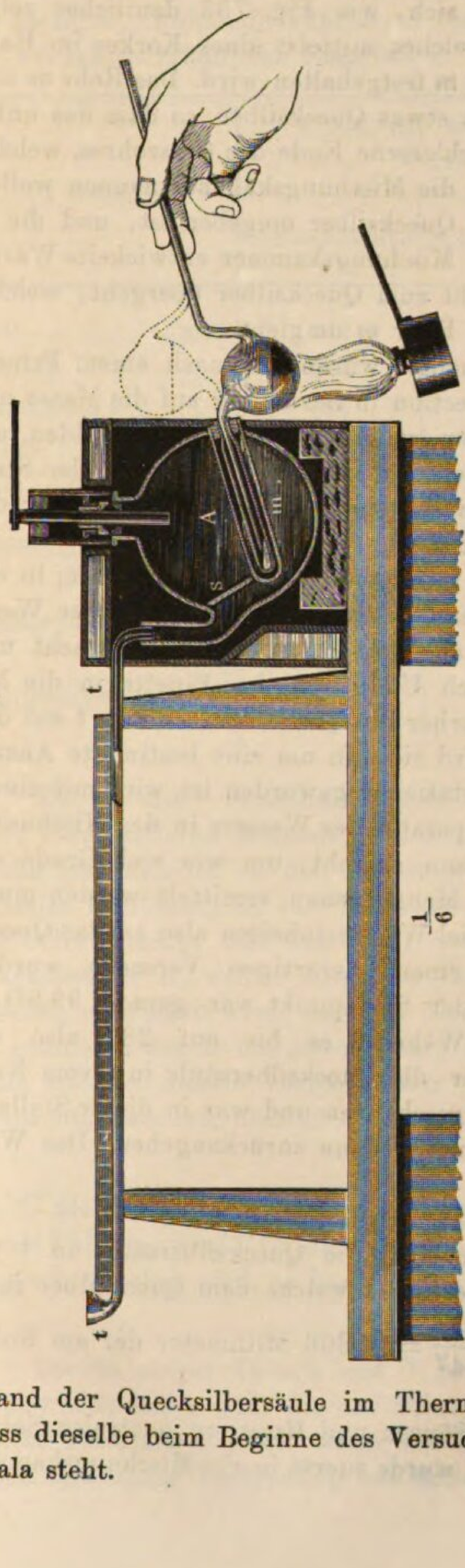
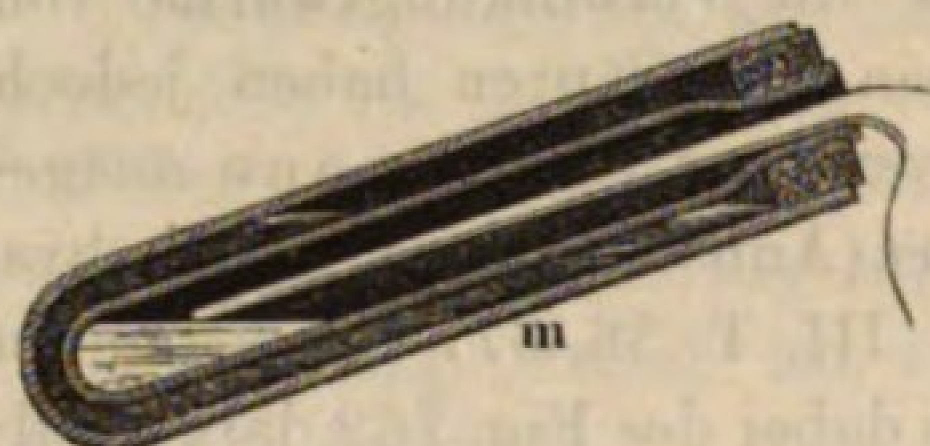


Fig. 133.

Der Ballon A, auf einem Stück Kork stehend, befindet sich in einem mit schlechten Wärmeleitern auszufüllenden Raum, welcher zur Abhaltung äusserer Wärmeeinflüsse theilweise mit einer Wasserschicht umgeben ist.

In dem Metallrohr m befindet sich, wie Fig. 733 deutlicher zeigt, ein ganz dünnwandiges Glasrohr, welches mittelst eines Korkes im Halse von m festgehalten wird. Das Rohr m enthält etwas Quecksilber, so dass das unten geschlossene Ende des Glasrohres, welches wir die Mischungskammer nennen wollen, mit Quecksilber umgeben ist, und die in der Mischungskammer entwickelte Wärme leicht zum Quecksilber übergeht, welches das Rohr m umgiebt.

Fig. 733.



Die Graduirung dieses Instrumentes wurde nun nach einem Princip ausgeführt, durch welches jede Correction in Beziehung auf die Masse und die specifische Wärme der Substanzen, welche das Calorimeter bilden, unnöthig ist; es wurde nämlich ermittelt, um wie viel Theilstriche der Scala die Quecksilbersäule im Rohre t voranschreitet, wenn dem Quecksilber der Kugel A 1 Wärmeeinheit zugeführt wird.

Diese Bestimmung wurde nun in folgender Weise ausgeführt: in der Kugel einer eigenthümlich geformten Pipette wurde mittelst einer Weingeistlampe eine bestimmte Quantität Wasser ins Kochen gebracht und dann dieses kochende Wasser durch Umkehren der Pipette in die Mischungskammer ausgeleert. War vorher die Quecksilbersäule in t auf den Nullpunkt eingestellt worden, so wird sie nun um eine bestimmte Anzahl von Graden vorrücken. Sobald sie stationär geworden ist, wird mit einem empfindlichen Thermometer die Temperatur des Wassers in der Mischungskammer gemessen, woraus sich dann ergiebt, um wie viel Grade die Temperatur dieses Wassers (dessen Menge genau ermittelt werden muss) vom Siedepunkte an erkaltete, wie viel Wärmeeinheiten also an das Quecksilber abgegeben wurden. Bei einem derartigen Versuche wurden 6,23 Gramm kochenden Wassers (der Siedepunkt war gerade $99{,}8^0$) in das Mischungsgefäss ausgeleert. Während es bis auf 28^0, also um $99{,}8 - 28 = 71{,}8^0$ erkaltete, war die Quecksilbersäule in t vom Nullpunkte der Theilung um 137^{mm} vorgeschritten und war in dieser Stellung für einige Zeit stationär geworden, um alsdann zurückzugehen. Das Wasser hatte also abgegeben

$$71{,}8 \cdot 6{,}23 = 447 \text{ Wärmeeinheiten},$$

und diese 447 Wärmeeinheiten machen die Quecksilbersäule in t um 137^{mm} vorangehen. Einer Wärmeeinheit, welche dem Quecksilber in A zugeführt wird, entsprechen also $\frac{137}{447} = 0{,}306$ Millimeter der am Rohre t angebrachten Scala.

Um die bei Verbindung von Säuren und Basen zu neutralen Salzen frei werdende Wärme zu ermitteln, wurde zuerst in die Mischungskammer

eine bestimmte Menge der Basis gebracht und zwar im Zustande verdünnter Lösung, wenn dieselbe überhaupt löslich war, und dann eine Quantität verdünnter Säure zugesetzt, welche gerade hinreichte, die Basis zu sättigen. Folgende Tabelle ist ein Auszug aus den von Favre und Silbermann erhaltenen Resultaten.

1 Gramm	Anzahl der Wärmeeinheiten, welche frei werden durch die Verbindung von			
	Schwefelsäure	Salpetersäure	Salzsäure	Essigsäure
Kali mit	342	330	333	297
Natron „	520	493	493	439
Ammoniak . . . „	565	527	521	486
Baryt „	270	202	201	174
Kalk „	670	605	606	524
Eisenoxydul . . „	303*	—	—	—
	308	268	273	239
Zinkoxyd . . . „	255*	—	—	—
	253	203	203	188
Kupferoxyd . . „	194*	—	—	—
	194	159	160	132

Zu den mit * bezeichneten Zahlen ist noch zu bemerken, dass sie nach einer anderen Methode ermittelt wurden, als der eben angegebenen. Wenn man nämlich zu der Auflösung der fraglichen schwefelsauren Metallsalze Kalilösung hinzusetzt, so wird das Metalloxyd gefällt, indem sich die Schwefelsäure mit dem Kali verbindet. Es wird dabei frei eine Wärmemenge A, welche durch die Verbindung des Kalis mit der Schwefelsäure entwickelt wird; dagegen wird aber eine bestimmte Wärmemenge B gebunden durch die Abscheidung des Metalloxyds von der Säure, es kann also bei diesem Vorgange nur die Differenz dieser Wärmemengen beobachtet werden, nämlich

$$A - B = C,$$

wo C die Wärmemenge bezeichnet, welche bei Fällung des Metalloxyds durch Kali frei wird. Da aber die Zahlenwerthe von A und C durch den Versuch gegeben sind, so kann man leicht B berechnen, denn es ist

$$B = A - C.$$

Die in obiger Tabelle mit * bezeichneten Zahlen sind nun in der That nichts anderes als die auf diesem Wege gefundenen Wärmemengen, welche absorbirt werden, wenn ein Gramm des entsprechenden Metalloxyds aus seiner Verbindung mit Schwefelsäure ausgeschieden wird.

Da nun diese Zahlen fast ganz genau mit den darunter stehenden übereinstimmen, so ist durch diese Versuche in der That der Beweis geführt, dass bei Trennung einer Verbindung gerade so viel Wärme absorbirt, wie bei Bildung derselben entwickelt wird, ein Satz, den schon früher Joule zur Bestimmung der Verbrennungswärme der Metalle auf elektrolytischem Wege in Anwendung gebracht hatte.

Da bei dem eben beschriebenen Verfahren das neutrale Salz in verdünnter Lösung erhalten wird, so geben eigentlich die Zahlen der Tabelle nicht den wahren Werth der Verbindungswärme der Basis mit der Säure, sondern es erscheint derselbe noch um die bei der Auflösung des Salzes in Wasser absorbirte Wärme vermindert.

282 **Wärmeabsorption durch Auflösung von Salzen.** Favre und Silbermann haben das im vorigen Paragraphen beschriebene Quecksilbercalorimeter auch benutzt, um die Quantität von Wärme zu ermitteln, welche beim Auflösen von Salzen gebunden wird. Folgendes sind einige der von ihnen erhaltenen Resultate:

Bei der Auflösung von 1 Gramm		werden gebunden
Schwefelsaurem	Kali	35 W.-E.
„	Natron	49 „
„	Ammoniak	11 „
„	Zink	15 „
Salpetersaurem	Kali	70 „
„	Natron	45 „
„	Ammoniak	66 „
Chlorkalium		52 „
Chlornatrium		9 „
Salmiak		65 „
Salzsaurem Kalk		15 „

Wenn ein wasserfreies Salz, welches fähig ist, Hydrate zu bilden, in einem Ueberschuss von Wasser gelöst wird, so wird nicht allein keine Wärme absorbirt, sondern es wird noch Wärme frei. Während z. B. bei Auflösung von salzsaurem Kalk Wärme gebunden wird, so findet eine Erwärmung statt, sobald man das wasserfreie Chlorcalcium in Wasser auflöst.

Bei Auflösung von 1 Gramm wasserfreiem Chlorzink in Wasser werden 92 Wärmeeinheiten entwickelt, indem also Chlorzink mit Wasser sich zu Hydrat verbindet, muss viel mehr Wärme frei werden, als bei der Auflösung des Chlorzinkhydrats in Wasser wieder gebunden werden kann, ein Beweis, dass die bei der Hydratbildung frei werdende Wärme keineswegs allein daraus abgeleitet werden kann, dass das Wasser in eine feste Verbindung eingeht.

283 **Hydradation der Schwefelsäure.** Es ist eine bekannte Thatsache, dass eine bedeutende Wärmeentwickelung eintritt, wenn eng-

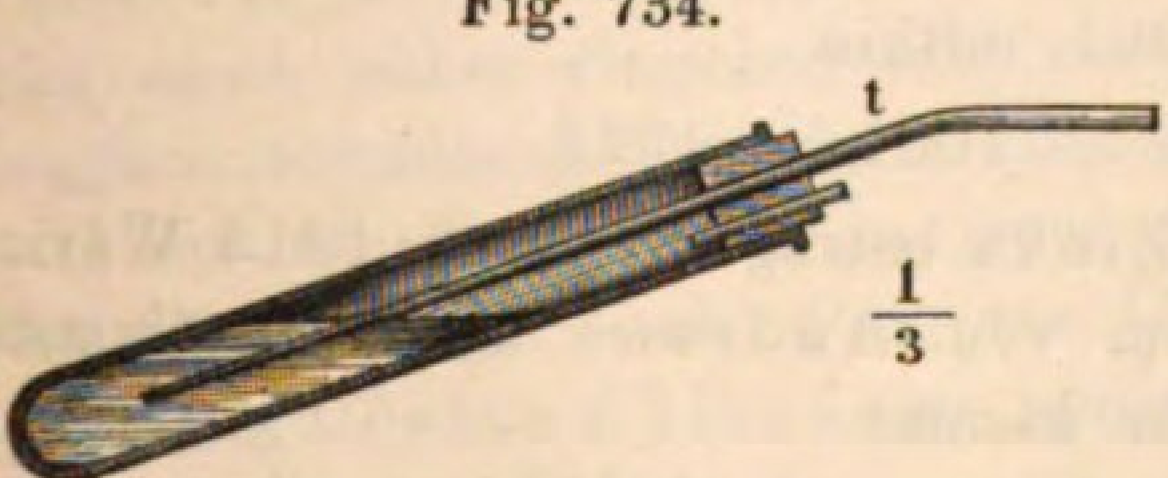
lische Schwefelsäure (SO_3, HO) mit Wasser gemischt wird. Schon Hess hat unter anderen auch diese Wärmeentwickelung zum Gegenstande seiner thermochemischen Untersuchungen gemacht. Später haben Andrews, Favre und Silbermann u. A. über denselben Gegenstand experimentirt und sehr nahe übereinstimmende Resultate gefunden. Nach Favre und Silbermann entwickelt die Mischung von

1 Gramm SO_3, HO	
mit dem ersten halben Aequivalent Wasser . . .	36,7 W.-E.
„ „ zweiten „ „ „	28,3 „
„ 1 Aeq. Wasser	64,7 „
„ 2 „ „	94,6 „
„ 3 „ „	111,9 „
„ 4 „ „	122,2 „
„ 5 „ „	130,7 „
„ 6 „ „	136,2 „
„ 7 „ „	141,8 „
„ 8 „ „	145,1 „
„ 9 „ „	148,5 „
„ 10 „ „	148,4 „
„ 20 „ „	148,6 „

Demnach wird gleichviel Wärme entwickelt, mag man nun erst $^1/_2$ und dann noch $^1/_2$ Aeq. Wasser zu SO_3, HO hinzusetzen, oder gleich 1 Aeq. auf einmal, und somit bestätigen auch diese Versuche den schon von Hess aufgestellten Satz: „dass, wenn eine Verbindung stattfindet, die entwickelte Wärmemenge gleich sei, mag nun die Verbindung direct oder indirect und zu wiederholten Malen geschehen."

Wärmeentwickelung bei der Absorption von Gasen in 284
Wasser. Um die Wärmeentwickelung bei Absorption von salzsaurem Gas durch Wasser zu bestimmen, wandten Favre und Silbermann gleichfalls ihr Quecksilbercalorimeter an. Die Mischungskammer wurde zum Theil mit Wasser gefüllt und in dieses dann durch die Röhre *t*, Fig. 734, das aus einem Quecksilbergasometer kommende Gas eingeleitet. Das Gas, welches nicht von dem Wasser absorbirt wurde, konnte durch ein Seitenröhrchen entweichen.

Fig. 734.



Die genannten Physiker haben nun gefunden, dass bei Absorption von 1 Gramm salzsaurem Gas in Wasser 450 Wärmeeinheiten entwickelt werden.

In gleicher Weise wurde mit schwefliger Säure und Ammoniakgas operirt; es ergab sich dabei, dass die Absorption von

1 Gramm schwefliger Säure 120
1 „ Ammoniakgas 514

Wärmeeinheiten entwickelt.

285 **Indirecte Bestimmung der Verbrennungswärme der Metalle.** Von dem Satze ausgehend, dass bei Zersetzung einer Verbindung ebenso viel Wärme absorbirt, wie bei der Bildung derselben entwickelt wird, kann man die Verbrennungswärme von Metallen auch aus zusammengesetzten chemischen Vorgängen ableiten. Wird z. B. Zink in verdünnter Schwefelsäure aufgelöst, so gehen folgende Processe vor sich: 1) das Zink verbindet sich mit Sauerstoff zu Zinkoxyd, und dabei wird eine Wärmemenge x entwickelt.

Das gebildete Zinkoxyd verbindet sich mit der Schwefelsäure, und dabei wird eine Wärmemenge A frei, welche man nach der entsprechenden Angabe auf Seite 877 berechnen kann; dagegen wird aber 2) das Wasser zerlegt und dabei eine Wärmemenge B gebunden, welche sich aus der Verbrennungswärme des Wasserstoffgases ergiebt. Die Gesammtwärme R, welche bei Auflösung von Zink in verdünnter Schwefelsäure frei wird, ist also

$$R = x + A - B,$$

wonach man x berechnen kann, da die Werthe von R, A und B bekannt sind.

Als bei einem derartigen Versuche in der Mischungskammer 1 Gramm Zink in verdünnter Schwefelsäure aufgelöst wurde, betrug die dadurch dem Calorimeter zugeführte Wärmemenge 568 Wärmeeinheiten, oder es war $R = 568$.

1 Gramm Zink bildet 1,24 Gramm Zinkoxyd und bei Verbindung von 1,24 Gramm Zinkoxyd mit Schwefelsäure zu gelöstem Zinkvitriol werden $1{,}24 \times 255 = 316$ Wärmeeinheiten entwickelt, also ist $A = 316$.

1 Gramm Zink scheidet bei dem vorliegenden Process $\frac{1}{32{,}5} = 0{,}0308$ Gramm Wasserstoff aus. Bei Verbrennung von 0,0308 Gramm Wasserstoffgas werden $0{,}0308 \times 34462 = 1061$ Wärmeeinheiten entwickelt, und da eben so viel Wärme bei Ausscheidung des Wasserstoffs aus Wasser gebunden wird, so ist $B = 1061$, mithin

$$x = 568 - 316 + 1061 = 1313.$$

Die Verbrennungswärme des Zinks beträgt demnach 1313 Wärmeeinheiten, ein Werth, welcher dem von Andrews direct bestimmten Werthe (1301; Seite 867) sehr nahe kommt.

Die Oxydationswärme des Kupfers wurde dadurch bestimmt, dass 1 Gramm Zink einer verdünnten Auflösung von Kupfervitriol zugesetzt wurde; die dabei entwickelte, durch das Calorimeter gemessene Wärmemenge R betrug 714 Wärmeeinheiten. Es ist aber hier

$$R = A + B - C - x,$$

wenn für

A die Oxydationswärme des Zinks gesetzt wird, welche 1313 ist,

für B die Verbindungswärme des gebildeten wasserfreien Zinkoxyds mit verdünnter Schwefelsäure, also 316,

für C die Zersetzungswärme des aufgelösten Kupfervitriols = 254.

Nach Einführung dieser Zahlenwerthe ergiebt sich

$$x = 661$$

während Andrews die Verbrennungswärme des Kupfers zu 600 bestimmt hatte.

Die Verbrennungswärme des Eisens ermittelten Favre und Silbermann durch die Fällung von Kupfer aus einer Lösung von Kupfervitriol durch Eisen und fanden die Wärmemenge, welche bei Verbrennung von 1 Grm. Eisen zu FeO entwickelt wird, gleich 1351 Wärmeeinheiten.

Durch Einwirkung von 1 Grm. Zink auf eine wässerige Lösung von essigsaurem Bleioxyd ergab sich die Verbrennungswärme des Bleies gleich 266 W.-E., und durch Einwirkung von 1 Grm. Kupfer auf eine Lösung von salpetersaurem Silberoxyd die Verbrennungswärme des Silbers gleich 57 Wärmeeinheiten.

Durch die Einwirkung von 1 Grm. Kalium auf Wasser wurden 1071 Wärmeeinheiten frei; addirt man dazu 884 W.-E., welche durch die Wasserzersetzung absorbirt wurden, so ergiebt sich die

Oxydationswärme des Kaliums 1955 W.-E.,

durch das gleiche Verfahren ergiebt sich die

Oxydationswärme des Natriums 3196 W.-E.

Die beiden letzten Zahlen sind mit den übrigen nicht direct vergleichbar, denn sie geben die Wärme, welche durch die Verbindung des Kaliums und des Natriums zu gelöstem Kali und Natron entwickelt wird, während die vorhergehenden Zahlen sich auf die Bildung des wasserfreien Oxyds beziehen.

Wärmeentwickelung von Chlor-, Brom-, Jod- und Schwefelverbindungen. 286 Auf ähnliche Weise haben nun Favre und Silbermann auf indirectem Wege auch die Wärmemengen bestimmt, welche bei Verbindung von Metallen mit Chlor, Brom, Jod und Schwefel entwickelt werden. Wir können auf die Details der Versuche hier nicht näher eingehen und verweisen in dieser Beziehung auf die Originalabhandlung (Annal. de chim. et de phys. Sér. III, T. 37).

Die wichtigsten der in jener Abhandlung aufgeführten Resultate sind folgende: bei Verbindung von Chlor mit 1 Grm. der folgenden Metalle zu gelösten Chlorüren werden entwickelt:

Kalium	2489 W.-E.
Natrium	4101 „
Zink	1740 „
Kupfer	1078 „
Eisen	1905 „

Die oben Seite 874 angeführten Zahlen beziehen sich auf die Bildung wasserfreier Verbindungen.

Bei der Verbindung von 1 Grm. der folgenden Metalle mit Brom werden entwickelt:

Bromverbindungen in Wasser gelöst.	Wasserstoff	28404 W.-E.
	Kalium	2192 „
	Natrium	3592 „
Wasserfrei . . .	Blei	315 „
	Silber	237 „

Bei Verbindung von 1 Grm. der folgenden Metalle mit Jod werden entwickelt:

Gelöste Jodverbindungen.	Wasserstoff	15004 W.-E.
	Kalium	1854 „
	Natrium	3006 „
Wasserfrei . . .	Blei	223 „
	Silber	173 „

Bei der Verbindung von 1 Grm. der folgenden Metalle mit Schwefel werden entwickelt:

In Lösung . . .	Kalium	1307 W.-E.
	Natrium	2103 „
Wasserfrei . . .	Wasserstoff	2741 „
	Zink	644 „
	Eisen	634 „
	Kupfer	285 „
	Blei	92 „
	Silber	51 „

287 **Bestimmung der Verbrennungswärme durch Elektrolyse.** Durch eine sinnreiche Combination der Elektrolyse und der Wärmeentwickelung durch den galvanischen Strom hat Joule auf indirectem Wege die Verbrennungswärme einiger Körper zu ermitteln gesucht (Phil. Mag. Sér. IV, Vol. III). Er geht bei dieser Bestimmung von folgenden Voraussetzungen aus:

1. Bei Zersetzung einer chemischen Verbindung wird eben so viel Wärme absorbirt, wie bei Bildung derselben entwickelt wird.

2. In einem Elektrolyten wird bei gleicher Stromstärke eben so viel Wärme entwickelt, wie in einem metallischen Leiter von gleichem Leitungswiderstande, ein Theil dieser Wärme wird aber durch die chemische Zersetzung, welche die Stromleitung begleitet, wieder absorbirt.

Zur Bestimmung der Verbrennungswärme des Kupfers wurden die Versuche in folgender Weise angestellt:

In den Schliessungsbogen einer aus vier Daniell'schen Bechern bestehenden Säule wurde eine Tangentenbussole und eine Zersetzungszelle eingeschaltet, welche mit einer Lösung von Kupfervitriol gefüllt war. Die

Ablenkung v der Tangentenbussole war unter diesen Umständen $37^0\ 8'$, also $tang\ v = 0{,}7607$.

Statt der Zersetzungszelle wurde nun ein 8 Meter langer, $0{,}6^{mm}$ dicker Silberdraht in den Schliessungsbogen eingeschaltet, und nun war die Ablenkung s der Tangentenbussole $54^0\ 31'$ also $tang\ s = 1{,}4099$.

Als endlich auch dieser Silberdraht aus dem Schliessungsbogen der Säule entfernt wurde, so dass derselbe nur noch durch die Tangentenbussole und die dicken Leitungsdrähte gebildet war, stieg die Ablenkung u auf $74^0 46'$, es war also $tang\ u = 3{,}7036$.

Wenn man den Leitungswiderstand des Silberdrahtes = 1 setzt, so ergiebt sich aus diesen Angaben nach der in §. 86 erläuterten Methode für den Leitungswiderstand der Zerlegungszelle der Werth 2,376.

Als der Silberdraht auf eine Glasröhre so aufgewunden, dass keine Berührung zwischen den einzelnen Windungen stattfand, und in ein Gefäss getaucht wurde, welches 1284 Grm. destillirtes Wasser enthielt, wurde die Temperatur dieses Wassers um $1{,}444^0$ C. erhöht, während ein Strom von der Stärke 1,3223 (Tangente des Ablenkungswinkels) 10 Minuten lang durch den Draht hindurchging; es wurden also durch den Strom 1,3223 in $10'$ im Silberdraht $1284 \times 1{,}444 = 1854$ Wärmeeinheiten entwickelt.

Nach dem in §. 103 besprochenen Gesetze ist aber die in einem Leiter durch den elektrischen Strom entwickelte Wärme dem Quadrat der Stromstärke und seinem Leitungswiderstande proportional; da nun der Leitungswiderstand der oben besprochenen Zerlegungszelle 2,376 ist, so muss die in dieser Zerlegungszelle während $10'$ durch den Strom 0,7607 entwickelte Wärme sein

$$1854 \times \left(\frac{0{,}7607}{1{,}3223}\right)^2 \times 2{,}376 = 1455 \text{ Wärmeeinheiten.}$$

Der Versuch ergab nun in der Flüssigkeit der Zerlegungszelle in $10'$ eine Temperaturerhöhung von $0{,}817^0$ C. während 0,5874 Grm. Kupfer an der negativen Elektrode abgesetzt wurden.

Die Zerlegungszelle enthielt 3 Pfd. Kupfervitriollösung, welche in Betreff der specifischen Wärme einer Wassermenge von 1179 Grm. gleich zu setzen sind; die in $10'$ in der Zerlegungszelle durch den Strom 0,7607 wirklich frei gewordene Wärmemenge beträgt also nur

$$1179 \times 0{,}817 = 963 \text{ Wärmeeinheiten.}$$

Es sind demnach

$$1455 - 963 = 492 \text{ Wärmeeinheiten}$$

durch die Elektrolyse einer Quantität Kupfervitriol absorbirt worden, welche 0,5874 Grm. Kupfer enthielt, was auf die elektrolytische Ausscheidung von 1 Grm. Kupfer eine Wärmeabsorption von 836 Einheiten giebt.

Diese Wärmemenge besteht aber aus zwei Theilen, nämlich aus derjenigen Wärme, welche bei der Trennung des Kupferoxyds von der Schwefelsäure, und derjenigen, welche bei der Zerlegung des Kupferoxyds ge-

bunden wird. Aus einem besonders deshalb angestellten Versuche hatte sich ergeben, dass um diejenige Quantität Kupferoxyd, welche in 1 Grm. des Salzes enthalten ist, von der Schwefelsäure abzuscheiden, 236 Wärmeeinheiten absorbirt werden; für die Ausscheidung von 1 Grm. Kupfer aus seiner Verbindung mit Sauerstoff bleibt also noch die Absorption von

$$836 - 236 = 600 \text{ Wärmeeinheiten,}$$

was vollkommen mit dem von Andrews für die Verbrennungswärme des Kupfers gefundenen Werthe übereinstimmt, während Favre und Silbermann diese Zahl zu 660 bestimmt haben.

Für die Verbrennungswärme des Zinks fand Joule nach derselben Methode den Werth 1185, während ihn Andrews zu 1301 angiebt.

Die Verbrennungswärme des Wasserstoffs bestimmte Joule durch die Elektrolyse der stark verdünnten Schwefelsäure und fand sie gleich 33553, während sie Andrews zu 33808, Favre und Silbermann aber zu 34462 bestimmten.

288 **Calorische Aequivalente.** Wir haben bisher die bei chemischen Verbindungen frei werdende Wärme immer auf 1 Grm. des einen in die Verbindung eingehenden Bestandtheils bezogen. Da nun aber die Beziehung auf chemische Aequivalente über die Discussion mehrerer physikalischer Phänomene viel Licht verbreitet hat, so haben Favre und Silbermann die bei chemischen Verbindungen frei werdende Wärme auf chemische Aequivalente bezogen; sie bezeichnen mit dem Namen des calorischen Aequivalents einer Verbindung die Zahl der Wärmeeinheiten, welche frei wird, wenn sich 1 Aeq. des einen Stoffes mit 1 Aeq. des anderen verbindet, wobei dann 1 Grm. als Aequivalent des Wasserstoffs betrachtet wird. So ist z. B. auf Wasserstoff als Einheit bezogen das chemische Aequivalent des Zinks = 32,5, also das calorische Aequivalent des Zinkoxyds 32,5 × 1294 = 42055.

In diesem Sinne enthält die folgende Tabelle das calorische Aequivalent mehrerer binärer Verbindungen:

Metalle.	Oxyde.	Chlorüre.	Bromüre.	Jodüre.	Sulfüre.
Wasserstoff	34462	23783	9322	3606	2741
Kalium	—	100960	90188	77268	45638
Natrium	—	94847	—	—	—
Zink	41955	50296	—	—	20940
Eisen	37828	49651	—	—	17753
Kupfer	21885	29524	—	—	9133
Blei	27675	44730	32802	23208	9556
Silber	6113	34800	25618	18651	5524

Im Allgemeinen ist also das calorische Aequivalent einer binären Verbindung um so grösser, je constanter sie ist.

Die Zahlen der obigen Tabelle beziehen sich nur auf wasserfreie Verbindungen; die folgende Tabelle enthält die calorischen Aequivalente binärer Verbindungen im Zustande der Lösung (in Wasser):

Metalle.	Oxyde.	Chlorüre.	Bromüre.	Jodüre.	Sulfüre.
Wasserstoff	—	40191	38404	15004	—
Kalium	76238	97091	85678	72479	50969
Natrium	73510	94326	82616	69143	48340
Zink	—	56567	—	—	—
Eisen	—	53350	—	—	—
Kupfer	—	34500	—	—	—

Hier, wo es sich um gelöste Verbindungen handelt, wo also keine Verschiedenheiten der Molekular-Anordnung störend einwirken, zeigen sich wichtige Beziehungen zwischen den calorischen Aequivalenten verschiedener Verbindungen. — Zieht man das calorische Aequivalent des Kaliumoxyds ab von dem calorischen Aequivalent des Chlorkaliums, so bleibt der Rest 20853; fast genau ebenso gross ist die Differenz der calorischen Aequivalente für Natriumoxyd und Chlornatrium, nämlich 20816. Das Mittel dieser beiden Differenzen ist 20834. Ebenso findet man die Differenz zwischen einer Chlorverbindung und der gleichnamigen Bromverbindung sehr nahe gleich und zwar im Mittel gleich 11637. Wenn man also von dem calorischen Aequivalent eines Chlormetalls die Zahl 11637 abzieht, so muss man das calorische Aequivalent der Bromverbindung desselben Metalls erhalten.

Favre und Silbermann bezeichnen diese Differenzen als Modulus der Metalloide. So ist

+ 9273	der Modulus der Brommetalle	verglichen
— 4063	„ „ „ Jodmetalle	mit den
— 25210	„ „ „ Schwefelmetalle	Oxyden.

Man kann den entsprechenden Modulus benutzen, um das calorische Aequivalent noch nicht untersuchter Verbindungen zu berechnen; ebenso kann man mit Hülfe dieser Zahlen berechnen, welches das calorische Aequivalent einer unlöslichen Verbindung sein müsste, wenn man sie in Lösung bringen könnte; so erhält man z. B. für die fictive Lösung des Zinkoxyds den Werth 56567 — 20834 = 35733.

Ebenso ist die Differenz der calorischen Aequivalente einer Kaliumverbindung und der gleichnamigen Natriumverbindung stets sehr nahe gleich und im Mittel 2724.

Diese Differenzen werden als Modulus der Metalle bezeichnet. Aus den Reihen der Chlorverbindungen ergiebt sich der Modulus

des Zinks bezogen auf Kalium — 40524
„ Eisens „ „ „ — 43741
„ Kupfers „ „ „ — 62591

Die folgende Tabelle enthält die calorischen Aequivalente verschiedener löslicher Salze:

Namen der Basis.	Schwefel-säure.	Salpeter-säure.	Salzsäure.	Essigsäure.
Kali	16083	15510	15656	13973
Natron	15810	15283	15128	13600
Ammoniak	14960	13676	13536	12649
Magnesia	14440	12840	13220	12270
Eisenoxydul	10872	9648	9928	8590
Zinkoxyd	10455	8323	8307	7720
Kupferoxyd	7720	6400	6416	5264

289 **Wärmeentwickelung durch mechanische Mittel.** Es ist schon oben bei Gelegenheit der specifischen Wärme die Rede davon gewesen, dass durch die Compression der Luft Wärme frei wird. Eine solche Wärmeentwickelung findet aber allgemein bei der Compression eines jeden Körpers statt. Wie bedeutend feste Körper durch eine kräftige Compression erwärmt werden, kann man u. a. beim Hämmern der Metalle und beim Prägen der Münzen beobachten.

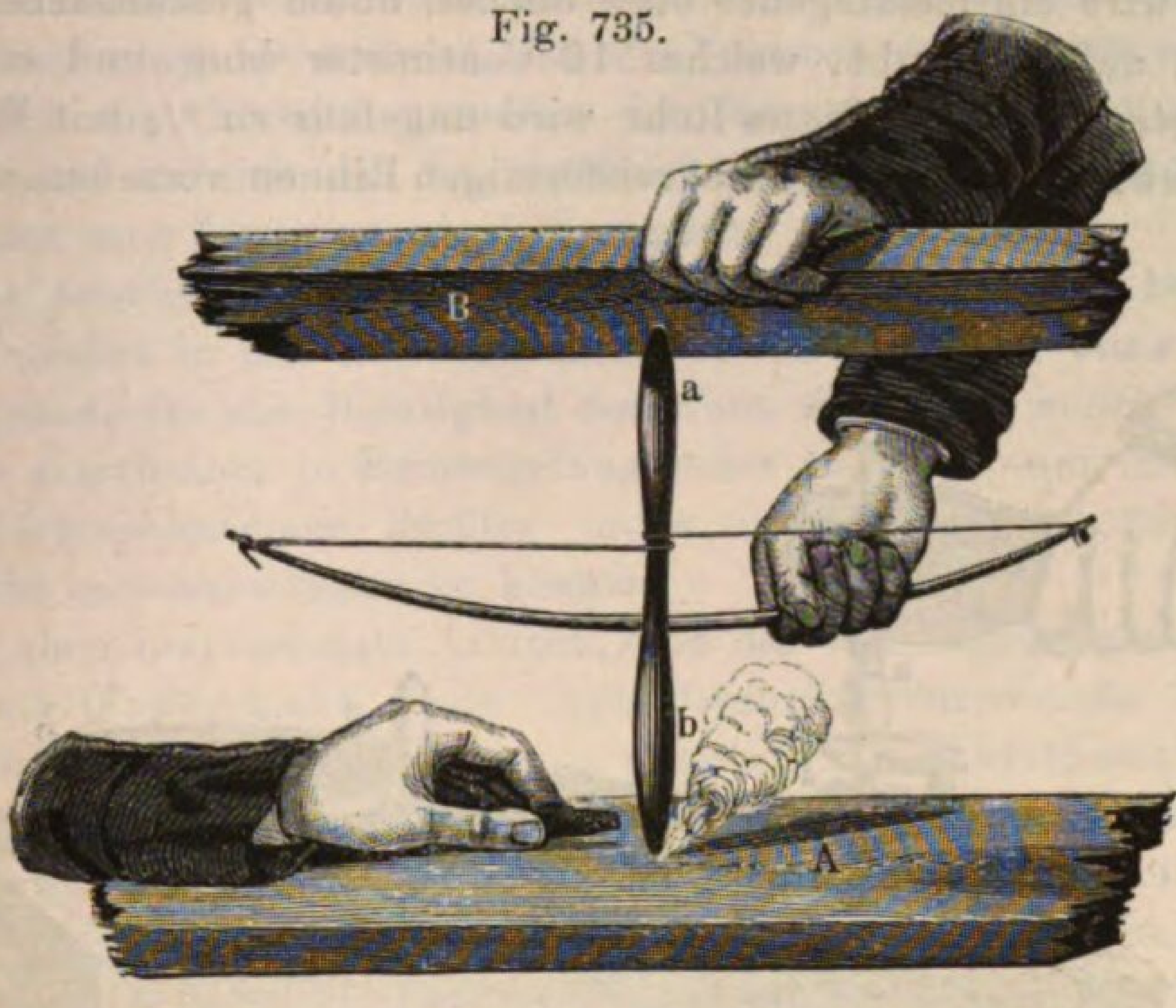
Unter allen mechanischen Mitteln, Wärme zu erzeugen, ist aber keines von grösserer Bedeutung als die Reibung, denn die Reibung ist es, welche man fast durchgängig benutzt, um sich Feuer zu verschaffen.

Es ist bekannt, dass die Wilden die Reibung zweier Holzstücke benutzen, um Feuer zu machen; Fig. 735 zeigt z. B. eine Vorrichtung, deren sich die Dacota-Indianer zu diesem Zwecke bedienen. Ein ungefähr 6 Zoll langer, an beiden Enden etwas zugespitzter Stab ab von hartem trockenen Holz wird in eine kleine Vertiefung des Brettes A eingesetzt, auf das obere Ende das Brett B aufgedrückt und dann auf die aus der Figur ersichtliche Weise der Stab in rasche Drehung versetzt. Sobald sich Feuer zeigt, nähert eine zweite Person ein Stück Feuerschwamm, um dasselbe zu entzünden.

Das Feuermachen mit Stahl und Stein beruht gleichfalls nur auf der Anwendung der durch Reiben entwickelten Wärme, welche hinreicht, um einzelne abgerissene Stahlpartikelchen zum Glühen zu erhitzen, und die jetzt allgemein verbreiteten Streichzündhölzchen werden eben-

falls durch die Wärme entzündet, welche schon durch eine gelinde Reibung der Zündmasse entwickelt wird.

Fig. 735.

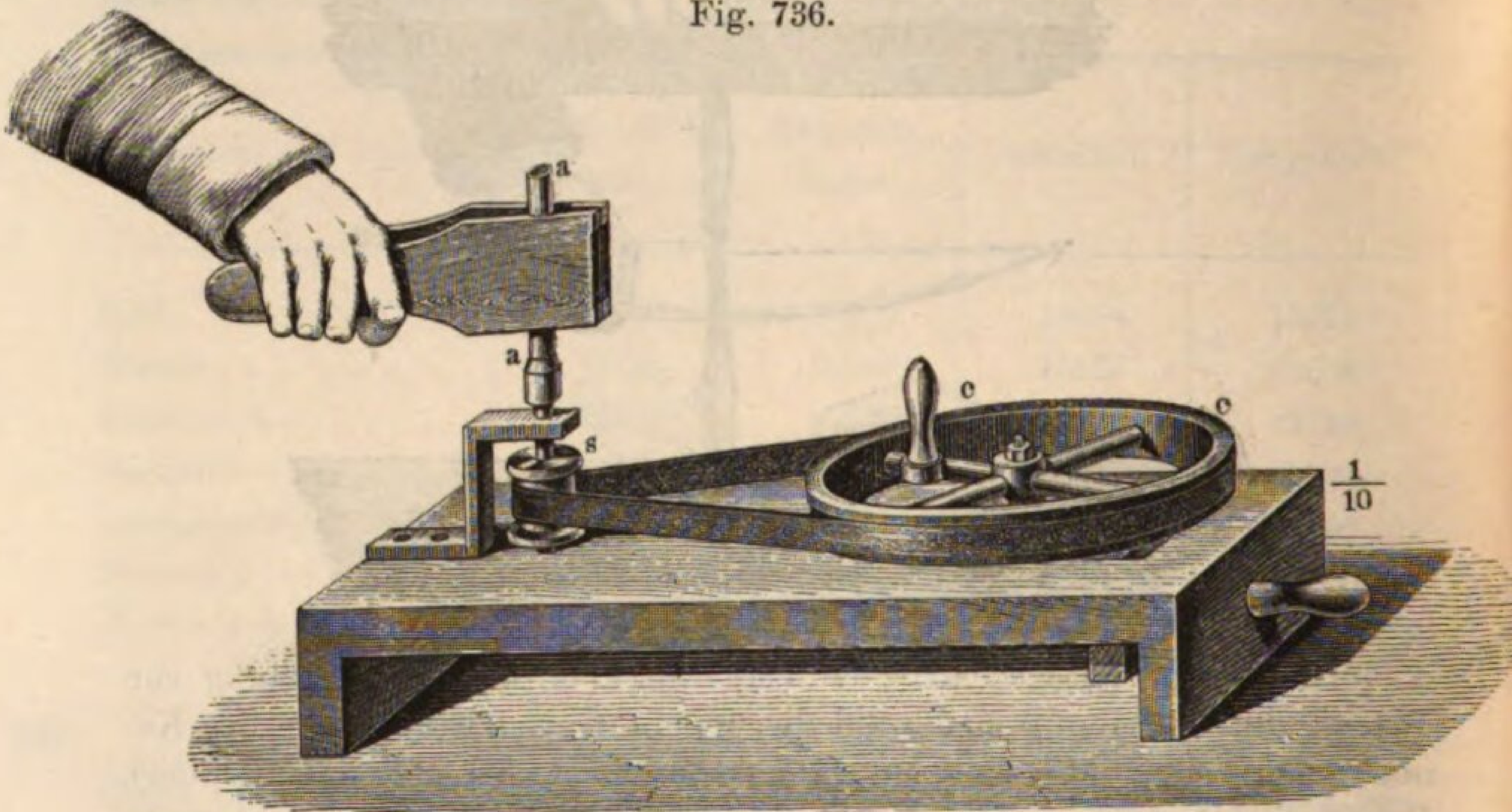


Die ersten wissenschaftlichen Versuche über die Entwickelung von Wärme durch Reibung sind wohl die, welche Graf Rumford in der Kanonenbohrerei zu München anstellte (Gilbert's Annal. Bd. XII, S. 554). Damit die Mündung der Kanone, welche beim Gusse oben ist, nicht porös werde, giesst man noch ein cylindrisches massives Metallstück darauf, welches man den verlorenen Kopf nennt. Aus dem verlorenen Kopfe eines metallenen Sechspfünders liess Rumford einen 9,8 Zoll langen und 7,75 Zoll dicken Cylinder drehen, welcher mit der Kanone nur noch durch einen kleinen Hals zusammenhing. Bei einem der von Rumford angestellten Versuche befand sich dieser Cylinder (dessen Axe gleich der Axe der Kanone und dem Bohrer wie gewöhnlich horizontal lag) in der Mitte eines hölzernen oben offenen Kastens; durch die eine Seitenwand des Kastens ging der erwähnte Hals wasserdicht hindurch, aber so, dass er sich darin drehen konnte. In der gegenüberstehenden Wand war die eiserne Bohrstange befestigt. In den Kasten wurden $18^3/_4$ Pfund Wasser gegossen. Die Umdrehung der Kanone und des mit Wasser umgebenen Cylinders, also auch die damit verbundene Bohrung des letzteren wurde durch Pferdekraft bewerkstelligt. Bei 32 Umdrehungen in der Minute war die Temperatur des Wassers nach 1 Stunde auf 41° C., nach $1^1/_2$ Stunden auf 61° C., nach 2 Stunden auf 81° C. gestiegen. $2^1/_2$ Stunde nach Beginn des Versuchs gerieth das Wasser zum Erstaunen aller Umstehenden wirklich ins Kochen. Zu der Temperatur des siedenden Wassers waren auch der Cylinder und die Bohrstange erwärmt. Es hatten sich während der $2^1/_2$ Stunden 4145 Gran (ungefähr 17 Loth) Bohrspähnchen abgerieben.

In dieser Form lässt sich der Rumford'sche Versuch nicht leicht

wiederholen, Tyndall hat aber das gleiche Resultat durch einen sehr eleganten Vorlesungsversuch erreicht. Auf die Rotationsaxe einer Schwungmaschine wird ein messingenes oben offenes, unten geschlossenes Rohr *a*, Fig. 736, aufgeschraubt, welches 12 Centimeter lang und etwas über 2 Centimeter weit ist. Dieses Rohr wird ungefähr zu $^3/_4$ mit Wasser gefüllt und zwischen zwei mit halbkreisförmigen Rinnen versehenen Brettern

Fig. 736.



von hartem Holz gefasst, die einerseits durch ein Charnier verbunden sind, andererseits mittelst der Hand schwach gegen die Röhre angedrückt werden. Wenn nun die Schwungmaschine in rasche Rotation versetzt wird, so findet am Umfange der Röhre eine so starke Reibung statt, dass die Temperatur des Wassers rasch steigt, wie man leicht mittelst eines Thermometers zeigen kann und endlich die Temperatur des Siedepunktes erreicht. — Schliesst man die Röhre luftdicht durch einen nicht allzu fest sitzenden Kork, so wird derselbe durch die Spannkraft der entwickelten Dämpfe fortgeschleudert. Damit der Versuch nicht allzu lange dauert, kann man heisses Wasser in die Röhre *a* einfüllen.

H. Davy brachte durch Reibung zwei Eisstücke in einem luftleeren unter den Gefrierpunkt erkalteten Raum zum Schmelzen.

Dass auch durch Reibung von Wasser an festen Körpern Wärme entwickelt wird, hat zuerst Mayer (1842) dargethan, indem er Wasser durch Schütteln von 12° C. auf 13° C. erwärmte (Annal. d. Chem. und Pharm. Mai 1842).

290 **Das Wesen der Wärme.** In Beziehung auf die Erklärung der Wärmephänomene standen sich früher zwei entgegengesetzte Ansichten gegenüber. Nach der einen sollten die verschiedenen Wärmephänomene von einem imponderabeln Wärmestoff herrühren, welcher

die Zwischenräume zwischen den einzelnen Körperatomen ausfüllend als repulsives Princip wirken sollte. Durch eine Vermehrung des in einem Körper enthaltenen Wärmestoffs sollte seine Temperatur erhöht, die Körperatome von einander entfernt, also das Volumen des Körpers vergrössert und endlich die Cohäsion zwischen den Körpertheilen mehr und mehr gelockert und dadurch der Aggregatzustand geändert, also feste Körper geschmolzen und flüssige verdampft werden.

Diese Anschauungsweise lag bis in die neueste Zeit der Darstellung der Wärmelehre in den meisten Lehrbüchern zu Grunde, ohne dass man deshalb gerade für die Richtigkeit derselben einstehen wollte. Man benutzte sie einstweilen in Ermangelung einer besseren, um die verschiedenen Wärmephänomene leichter unter einem gemeinschaftlichen Gesichtspunkt zusammenfassen zu können.

Der eben besprochenen Ansicht, dass die Wärmephänomene von der ruhenden Gegenwart eines imponderabeln Wärmestoffs herrühren und welche wir deshalb auch kurz die thermische Stofftheorie nennen wollen, stand eine andere gegenüber, nach welcher die Wärme das Resultat einer Vibrationsbewegung der kleinsten Körpertheilchen ist, welche also die Erklärung der Wärmephänomene auf mechanische Principien zurückführt und welche deshalb in ihrer weiteren Ausbildung als mechanische Wärmetheorie bezeichnet wird.

Schon Locke sagt: „Die Wärme ist eine sehr lebhafte Erschütterung der unmerkbar kleinen Theile eines Körpers, welche uns das Gefühl hervorbringt, wonach wir den Körper warm nennen; was also für unser Gefühl Wärme ist, ist in Wirklichkeit nichts anderes als Bewegung.“

Für die mechanische Erklärung der Wärmephänomene spricht eben wohl nichts überzeugender als die Wärmeproduction durch mechanische Kräfte, welche wir im vorigen Paragraphen kennen gelernt haben. Von einer Zuleitung des Wärmestoffs von aussen kann weder bei dem Rumford'schen noch bei dem Davy'schen Versuch die Rede sein.

Die Anhänger der thermischen Stofftheorie suchten die Wärmeentwickelung durch Compression durch die Annahme zu erklären, dass die Wärmecapacität der Körper mit ihrer Dichtigkeit abnehme, dass also der Körper, indem seine Dichtigkeit vermehrt wird, Wärme abgeben müsse. Der Unterschied zwischen der specifischen Wärme der Gase bei constantem Druck und bei constantem Volumen liess sich wenigstens auf die Annahme zurückführen, dass die specifische Wärme der Gase abnimmt, wenn ihre Dichtigkeit wächst, bis Regnault (§. 256) gezeigt hat, dass die specifische Wärme der Gase von ihrer Dichtigkeit unabhängig ist.

Die Wärmeentwickelung durch Reibung suchten die Anhänger der thermischen Stofftheorie dadurch zu erklären, dass die Reibung stets von einer entsprechenden Compression und einer dadurch bedingten Verminderung der specifischen Wärme begleitet sei. Eine genauere Unter-

suchung zeigte aber, dass die specifische Wärme der Bohrspähne, welche beim Bohren der Kanonen abfallen, nicht merklich von der des Kanonenmetalls vor der Bohrung verschieden ist; bei dem Davy'schen Versuch wird aber ein Körper gebildet, nämlich Wasser, dessen specifische Wärme nicht nur nicht kleiner, sondern sogar doppelt so gross ist als die specifische Wärme des Eises. Hier lässt sich also in keiner Weise die Wärmeentwickelung auf eine Verminderung der specifischen Wärme zurückführen.

Rumford sowohl wie Davy hatten ihre Versuche angestellt, um durch dieselben die Nothwendigkeit einer mechanischen Erklärung der Wärme darzuthun. Obgleich sie aber dadurch den richtigen Weg zur Beantwortung der Frage über die Natur der Wärme eingeschlagen hatten, so wurde derselbe doch vor der Hand wenigstens nicht weiter verfolgt, nicht etwa weil die Mehrzahl der Physiker den Ansichten der beiden englischen Forscher entgegen, entschieden für die Stofftheorie Partei ergriffen hätten, sondern vielmehr deshalb, weil man sich in jener Zeit mit diesen Fragen überhaupt kaum mehr beschäftigte.

Unter der Hand aber wuchs das Material an, welches später in die Wagschale geworfen, der mechanischen Wärmetheorie den unbedingten Sieg über die Stofftheorie verschaffen musste.

Das Studium der strahlenden Wärme hatte zu der Erkenntniss geführt, dass jeder warme Körper in kälterer Umgebung nach allen Seiten hin Wärmestrahlen in gleicher Weise aussendet, wie ein leuchtender Körper die Lichtstrahlen. Gerade so wie die Lichtstrahlen durch die Luft und andere durchsichtige Körper hindurchgehen ohne dieselben leuchtend zu machen, so gehen auch die Wärmestrahlen durch die Luft und andere durchwärmige (diathermane) Stoffe hindurch, ohne in ihnen eine merkliche Erwärmung hervorzurufen. Erst dann werden die Wärmestrahlen in fühlbare Wärme verwandelt, wenn sie von irgend einem Körper, den sie treffen, absorbirt werden, in ähnlicher Weise, wie auch gewisse Körper (die sogenannten Phosphore) unter dem Einfluss kräftiger Lichtstrahlen selbstleuchtend werden.

Ebenso wie die Lichtstrahlen verbreiten sich auch die Wärmestrahlen mit einer für irdische Dimensionen momentanen Geschwindigkeit.

Die Wärmestrahlen folgen denselben Gesetzen der Spiegelung und Brechung wie die Lichtstrahlen.

Unter den Wärmestrahlen lassen sich eben solche Unterschiede nachweisen, wie die sind, welche die Verschiedenheit der Farben bei den Lichtstrahlen bedingen.

Kurz, es ist gegenwärtig auf das Vollständigste nachgewiesen, dass Licht- und Wärmestrahlen ihrem Wesen nach identisch sind und dass etwaige Unterschiede nur quantitativer Natur sein können; daraus folgt aber auch, dass Licht- und Wärmephänomene auf dasselbe Erklärungsprincip zurückgeführt werden müssen. Nachdem also in der Erklärung der Lichterscheinungen die Vibrationstheorie siegreich

aus dem Kampfe gegen die Emanationstheorie hervorgegangen war, konnte es nicht mehr zweifelhaft sein, dass auch die Wärmephänomene auf mechanische Grundsätze zurückgeführt werden müssen.

Ein Körper ist leuchtend, wenn seine einzelnen Körperatome mit hinlänglicher Intensität und Schnelligkeit um ihre Gleichgewichtslagen oscilliren. Diese Vibrationen der Körperatome rufen in dem umgebenden Aether eine Wellenbewegung hervor, durch welche die Lichtstrahlen fortgepflanzt werden, es finden also vielfach Analogien zwischen Schall und Licht statt.

Während der Schall durch die Vibrationsbewegung elastischer Körper erzeugt wird, entsteht das Licht durch eine ungleich raschere Oscillationsbewegung der kleinsten Körpertheilchen. Wie der Schall durch eine Wellenbewegung der Luft verbreitet wird, so das Licht durch eine Wellenbewegung des Aethers. Wie die Verschiedenheit der Tonhöhe, so rührt auch, wie wir bereits im ersten Bande gesehen haben, die Verschiedenheit der Farbe von einer Verschiedenheit der Schwingungsdauer her.

Da nun aber Licht- und Wärmestrahlen, welche ein glühender Körper aussendet, identisch sind, so müssen wir auch annehmen, dass die Ursache seines Leuchtens und seiner Wärme die gleiche ist, dass also auch die Wärme des Körpers nur von einer Oscillationsbewegung seiner Atome herrühre.

Hier könnte man vielleicht den Einwurf machen, dass ja auch dunkle Körper Wärmestrahlen aussenden, dass das Sonnenlicht sowohl wie das elektrische Licht in reichlichem Maasse von dunklen Wärmestrahlen begleitet ist. Es könnte also scheinen, als ob doch wohl ein Unterschied zwischen Licht- und Wärmestrahlen stattfände. Eine eingehendere Untersuchung hat aber gezeigt, dass es sich hier nur um quantitative Unterschiede handelt. Ihrem Wesen nach sind die dunkelen Wärmestrahlen nicht von den zugleich leuchtenden verschieden, es sind solche, welche noch langsamer schwingen als die rothen, Strahlen also, deren Schwingungsdauer ausserhalb der Gränzen liegt, für deren Wahrnehmung unser Auge organisirt ist.

So hat denn also das Studium der strahlenden Wärme zu denselben Consequenzen geführt, welche Rumford und Davy aus ihren Versuchen über die Wärmeproduction durch Reibung gezogen hatten.

Aber wenn auch die Mehrzahl der Physiker die Ansichten Rumford's und Davy's theilten, wenn sie auch die Ueberzeugung hegten, dass die thermische Stofftheorie für die Zukunft unhaltbar sei, so wurde doch längere Zeit nichts gethan, um diese Frage ihrer Entscheidung entgegenzuführen, bis dieselbe vor ungefähr 24 Jahren von verschiedenen Seiten her mit grösster Energie wieder in Angriff genommen wurde.

Der Erste, welcher diesen wichtigen Gegenstand wieder aufnahm und durch einen im Jahre 1842 in den Annalen der Chemie und Pharmacie unter dem Titel: Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten

Natur erschienenen Aufsatz die Aufmerksamkeit der Physiker wieder auf denselben leitete, war der praktische Arzt Mayer in Heilbronn.

291 **Das mechanische Aequivalent der Wärme.** Mayer sprach zuerst die Idee aus, dass wie überhaupt zwischen Ursache und Wirkung ein bestimmtes Grössenverhältniss besteht, so auch bei der Production von Wärme durch mechanische Mittel stets ein unveränderliches Grössenverhältniss zwischen der erzeugten Wärme und der zu diesem Zweck consumirten mechanischen Arbeit bestehen müsse und in der That hat er auch das mechanische Aequivalent der Wärme bereits annähernd richtig bestimmt. Genauer geschah dies später vorzugsweise durch die Versuche von Joule und Hirn.

Im Jahre 1843 (Phil. Mag. Bd. XXIII) machte Joule die Beobachtung, dass beim Durchgange des Wassers durch enge Röhren Wärme erzeugt wird, und zwar, dass eine mechanische Kraft von 770 Fusspfunden verbraucht wird, um die Temperatur von 1 Pfund Wasser um 1° F. zu erhöhen, woraus sich berechnen lässt, dass hier zur Erzeugung von einer Wärmeeinheit (Wärmemenge, welche nöthig ist, um 1 Kilogramm Wasser von 0° auf 1° C. zu erwärmen) ein Kraftaufwand von 421 Kilogrammometern erforderlich ist, ein Resultat, welches, wie wir sehen werden, von dem durch Compression der Luft erhaltenen nicht viel verschieden ist.

Auch noch auf anderem Wege versuchte Joule das Verhältniss der durch Reibung erzeugten Wärme zu der dabei aufgewendeten mechanischen Kraft zu ermitteln. In einem kupfernen Gefässe A, Fig. 737, war um eine verticale Axe ein Schaufelrad drehbar, dessen Einrichtung aus Fig. 738 zu ersehen ist; acht Schaufeln von Messingblech, 45° von einan-

Fig. 737.

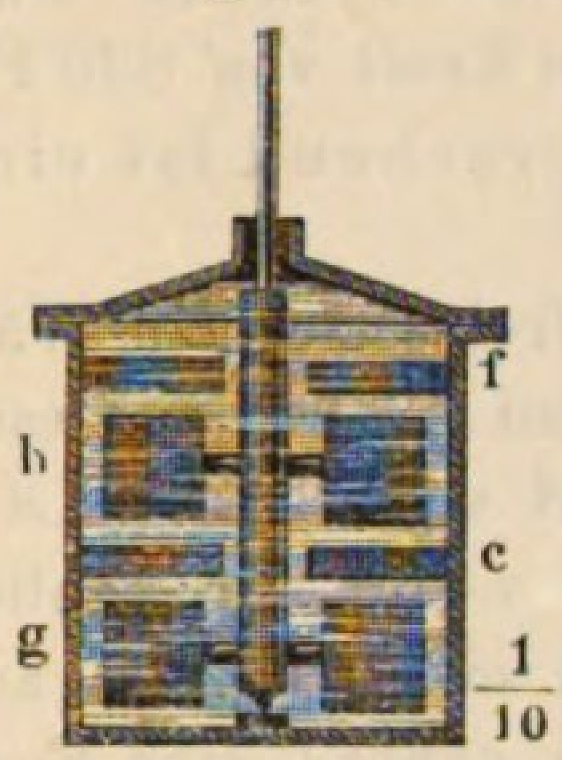


der abstehend, befinden sich in der Höhe h, acht andere in der Höhe g. Sie bewegen sich zwischen Metallplatten, welche an der Wand des Gefässes befestigt sind, und von denen vier, um einen rechten Winkel von einander abstehend, sich in der Höhe von f, vier andere in der Höhe von c befanden.

Das Gefäss A, welches auf einem Schemel von Holz stand, wurde

mit Wasser gefüllt und dann die Umdrehung des Schaufelrades in der aus der Figur ersichtlichen Weise durch die Gewichte B und D bewerkstelligt, welche durch ihr Niedersinken die Axe des Schaufelrades in gleicher Richtung in Bewegung setzten und welche ungefähr eine Höhe von 63 Zoll zu durchfallen hatten. Nachdem dieselben auf dem Boden angekommen waren, wurde durch Ausziehen des Stiftes s die Verbindung der Walze v mit der Umdrehungsaxe des Schaufelrades gelöst, die Gewichte B und D wieder aufgewunden, und dann dieselbe Operation wiederholt. Nachdem dies 20mal geschehen war, wurde die Temperaturerhöhung gemessen, welche auf diese Weise im Wasser des Behälters A hervorgebracht worden war, und welche ungefähr 0,6° F. betrug.

Fig. 738.



Die zur Hervorbringung dieses Effectes verwendete mechanische Kraft ergiebt sich, wenn man die Gewichte mit dem Gesammtfallraum multiplicirt, welchen sie durchlaufen haben, wobei jedoch die Beschleunigung in Abzug zu bringen ist, mit welcher die Gewichte jedesmal am Boden ankommen.

In der erwähnten Weise hat nun Joule eine grosse Reihe von Versuchen angestellt, und berechnet aus ihnen, als Mittel nach Anbringung der nöthigen Correctionen, dass ein Kraftaufwand von 773,64 Fusspfund unter den erwähnten Umständen so viel Wärme entwickelt als nöthig ist, um die Temperatur von 1 Pfund Wasser um 1° F. zu erhöhen, oder mit anderen Worten, dass eine Wärmeeinheit das thermische Aequivalent eines mechanischen Kraftaufwandes von 425 Kilogrammometern ist.

Die Reibung eines eisernen Schaufelrades in Quecksilber ergab 776,3 Fusspfund, und die Reibung gusseiserner Platten aneinander ergab 774,88 Fusspfund als Kraftaufwand, welcher nöthig ist, um die Temperatur von 1 Pfund Wasser um 1° F. zu erhöhen.

Ein von diesem nicht sehr verschiedenes Resultat erhielt Joule, als er die Wärmemenge, welche in den Windungen eines Elektromagnets frei wird, wenn derselbe zwischen kräftigen Magnetpolen rotirt, mit der mechanischen Kraft verglich, welche zur Hervorbringung dieser Rotation nöthig ist (Phil. Mag. Bd. XXIII). Die in den Windungen des rotirenden Elektromagnets entwickelte Wärme wurde dadurch bestimmt, dass derselbe in der Weise in einer Glasröhre steckte, dass der Zwischenraum zwischen dem Elektromagnet und der Glaswand ein nach allen Seiten verschliessbares Gefäss bildete, welches mit Wasser gefüllt wurde. Durch die bei der Rotation des Elektromagnets entwickelte Wärme wurde die Temperatur des denselben umgebenden Wassers erhöht und diese Temperaturerhöhung gemessen. — Um die mechanische Kraft bestimmen zu können, welche zur Hervorbringung der Rotation erforderlich

ist, wurde um die Verlängerung der Rotationsaxe eine Schnur gewickelt und durch ein an dieser Schnur hängendes Gewicht die Umdrehung des Elektromagnets bewerkstelligt. Aus diesen Versuchen berechnete Joule, dass zur Hervorbringung einer Wärmemenge, welche 1 Pfund Wasser um 1^0 F. zu erhöhen im Stande ist, eine mechanische Kraft von 838 Fusspfunden nöthig sei, also 1 Wärmeeinheit entsprechend ist einem Kraftaufwande von 460 Kilogrammometern.

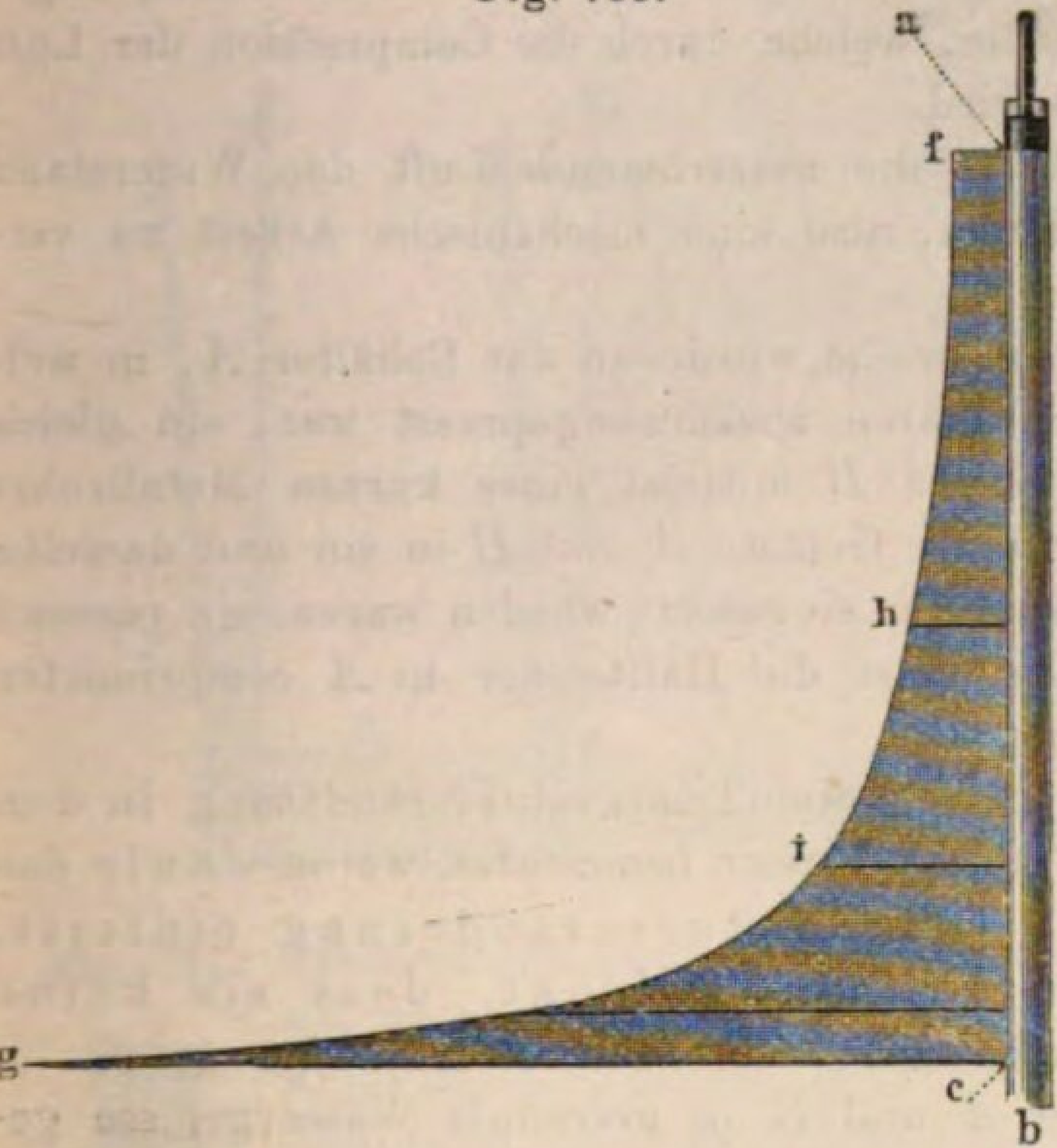
Auch durch die bei der Compression der Luft frei gewordene Wärme hat Joule das mechanische Aequivalent der Wärme zu bestimmen gesucht (Krönig's Journal III). In ein kupfernes Behälter *A* von 12 Zoll Länge, $136^1/_2$ Cubikzoll Inhalt und $^1/_4$ Zoll Wanddicke wurde in ähnlicher Weise wie in den Kolben einer Windbüchse durch eine aufgeschraubte Druckpumpe Luft eingepresst und zwar bis dieselbe nahezu eine Spannkraft von 22 Atmosphären erreicht hatte. Während dieser Operation war nun das kupferne Behälter *A* sammt der Druckpumpe in ein Gefäss eingetaucht, welches 45 Pfd. 3 Unzen Wasser enthielt. Durch 300 Kolbenstösse wurde die Luft im Gefäss von 1 bis 21,654 Atmosphären verdichtet und dabei so viel Wärme entwickelt, dass die Temperatur des Kühlwassers um $0{,}643^0$ F. stieg. Diese Temperaturerhöhung rührt aber nicht allein von der Compression der Luft, sondern auch von der Kolbenreibung her. Um letztere zu eliminiren wurde das Rohr, durch welches die Luft eingetreten war, verschlossen, und nun fand sich, dass durch 300 Kolbenstösse, welche jetzt nicht von einer Compression der Luft im Behälter begleitet waren, die Temperatur des Kühlwassers um $0{,}297^0$ F. erhöht wurde. Auf Rechnung der Compression der Luft kommt also beim ersten Versuch eine Temperaturerhöhung von $0{,}346^0$ F.

Nach Vornahme der nöthigen Reductionen und Correctionen ergab sich nun, dass durch das Zusammenpressen von 2956 Cubikzoll trockener Luft von atmosphärischer Dichtigkeit in einem Raume von 136,5 Cubikzoll so viel Wärme entwickelt wurde, als nöthig, um das Gewicht von 1 Pfd. Wasser um $13{,}628^0$ F. zu erwärmen. Es ist dies gleich der Wärmemenge, welche nöthig ist, um die Temperatur von 3,437 Kilogramm Wasser um 1^0 C. zu erhöhen.

Suchen wir nun die mechanische Kraft zu bestimmen, welche erforderlich ist, um 2956 Cubikzoll Luft von atmosphärischer Dichtigkeit bis zu einer 21,654fachen Dichtigkeit zu comprimiren. Zu diesem Zweck wollen wir uns die genannte Luftmenge in einer 21,654 Fuss langen Röhre *ab* (Fig. 739) von solchem Querschnitt (11,376 Quadratzoll) enthalten denken, dass der Inhalt eines 1 Fuss langen Stückes dieser Röhre dem Inhalte des Gefässes *A* gleich ist (136,5 Cubikzoll), so wird offenbar die besagte Compression erfolgen, wenn man einen Kolben von dem oberen Ende *a* bis zu dem Punkte *c* heruntertreibt, welcher noch 1 Fuss hoch über dem Boden der Röhre steht. Werden nun an verschiedenen Stellen des Rohres rechtwinkelig zu seiner Axe Linien gezogen, deren Länge stets dem Drucke proportional ist, unter welchem die eingeschlos-

sene Luft steht, wenn der Kolben bis zu dieser Stelle herabgedrückt ist (die Linie *cg* muss also 21,654mal so gross sein als *af*), so ist die Curve

Fig. 739.



fhig, welche die Endpunkte dieser Linien verbindet, ein Stück einer gleichseitigen Hyperbel, und der hyperbolische Flächenraum *acghf* stellt dann die Kraft dar, welche verwendet werden muss, um den Kolben von *a* bis *c* herabzudrücken. Bezeichnen wir *gc* mit y, *bc* mit x und *ba* mit x', so ist der fragliche Flächeninhalt

$$H = x \,.\, y \,.\, log\,nat\,\frac{x'}{x}$$

und wenn $x = 1$

$$H = y\; log\; nat\; x'$$

oder

$$H = 2{,}3026 \,.\, y \,.\, log\, x' \quad . \; . \; . \; . \; . \quad 1)$$

wenn *log* gewöhnliche, auf die Basis 10 sich beziehende Logarithmen bezeichnet. Bei Anstellung der Versuche war der Barometerstand 30,2 englische Zoll, das macht auf den Querschnitt unserer Röhre 168,5 Pfund. Die Linie *fa* repräsentirt uns also den Druck 168,5, *gc* aber den Druck $21{,}654 \times 168{,}5 = 3648{,}7$. Setzen wir nun in Gl. 1) $x' = 21{,}654$ und $y = 3648{,}7$, so kommt

$$H = 2{,}3026 \times 3648{,}7\; log\; 21{,}654 = 11220 \text{ Fusspfund}$$

als der Kraftaufwand, welcher nöthig ist, um 2956 Cubikzoll Luft von atmosphärischer Dichtigkeit auf einen 21,654mal kleineren Raum zusammenzupressen, wobei, wie wir gesehen haben, 3,437 Wärmeeinheiten entwickelt werden.

Diesen Versuchen zufolge sind also 3,437 Wärmeeinheiten das thermische Aequivalent für einen Kraftaufwand von 11220 Fusspfund oder 1552 Kilogrammometer. Um eine Wärmeeinheit durch Compression der Luft zu erzeugen, ist demnach ein Kraftaufwand von 451 Kilogrammometern nöthig.

Um die Wärmebindung zu messen, welche beim Ausströmen comprimirter Luft erfolgt, wurde das Gefäss *A*, nachdem in ihm die Luft bis auf 22 Atmosphären comprimirt war, in ein Wasserbehälter eingesetzt, welches 21 Pfd. Wasser enthielt. Als nun die comprimirte Luft durch ein Bleirohr aus dem Gefäss *A* ausströmte, wurde die Temperatur des

umgebenden Wassers um 4,1° F. erniedrigt. Mit Berücksichtigung aller nothwendigen Correctionen berechnet sich hieraus, dass die Wärmemenge welche beim Ausströmen der Luft aus dem Gefäss *A* verschwindet, ungefähr eben so gross ist, wie die, welche durch die Compression der Luft in dem Gefäss *A* entwickelt wird.

Bei diesem Versuche hatte die ausströmende Luft den Widerstand der Atmosphäre zu überwinden, also eine mechanische Arbeit zu verrichten.

Bei einer anderen Versuchsreihe wurde an das Behälter *A*, in welchem Luft bis auf 22 Atmosphären zusammengepresst war, ein gleich grosses luftleer gemachtes Gefäss *B* mittelst eines kurzen Metallrohrs angeschraubt, und nachdem beide Gefässe *A* und *B* in ein und dasselbe $16\frac{1}{2}$ Pfd. Wasser haltende Behälter eingesetzt worden waren, ein passend construirter Hahn geöffnet, so dass die Hälfte der in *A* comprimirten Luft nach *B* überströmen konnte.

Bei diesem Vorgange wurde keine Temperaturveränderung in dem die Gefässe *A* und *B* umgebenden Wasser beobachtet, woraus Joule den Schluss zieht, dass keine Temperaturveränderung eintritt, wenn sich Luft in der Weise ausdehnt, dass sie keine mechanische Arbeit erzeugt.

Als die beiden Behälter *A* und *B* in getrennte Wassergefässe gesetzt wurden, ergab sich in dem Gefässe, welches das Behälter *A* enthielt, aus welchem die comprimirte Luft ausströmte, eine Temperaturerniedrigung von 2,36° F., während das Wasser, welches das Behälter *B* umgab, in welches die Luft einströmte, eine fast gleiche Temperaturerhöhung erhielt.

Auch Hirn (Théorie mécanique de la chaleur, Paris 1865) hat eine Reihe von Versuchen zur Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalentes angestellt, unter welchen wir den über die Wärmeentwickelung durch die Compression von Blei hervorheben wollen, weil sich derselbe durch Einfachheit und Uebersichtlichkeit auszeichnet.

Ein 350 Kilogr. schwerer Cylinder *A* von Schmiedeeisen, den wir den Hammer nennen wollen, ist an zwei Paar ungefähr 3 Meter langen Seilen so aufgehängt, wie es Fig. 740 erläutert. Ihm gegenüber ist in ähnlicher Weise aufgehängt ein prismatischer 941 Kilogr. schwerer Sandsteinblock *B* angebracht, den wir den Amboss nennen wollen und welcher auf der dem Hammer zugewendeten Seite mit einer eisernen Platte *C* bekleidet ist.

Zwischen Hammer und Amboss wurde nun ein cylindrisches, 2,948 Kilogr. schweres Bleistück *P*, von einer leichten Holzgabel getragen, aufgestellt. Dieses Bleistück war seiner Axe nach zum Theil ausgehöhlt, wie der Durchschnitt Fig. 741 zeigt. Seine Temperatur wurde vor dem Versuch mittelst eines in die Höhlung eingeführten Thermometers gemessen und gleich 7,87° gefunden.

Nun wurde der Hammer durch einen Flaschenzug zurückgezogen

bis er sich in der Lage A' befand und dann wieder losgelassen. In seine Gleichgewichtslage zurückfallend übte er einen gewaltigen Stoss gegen

Fig. 740.

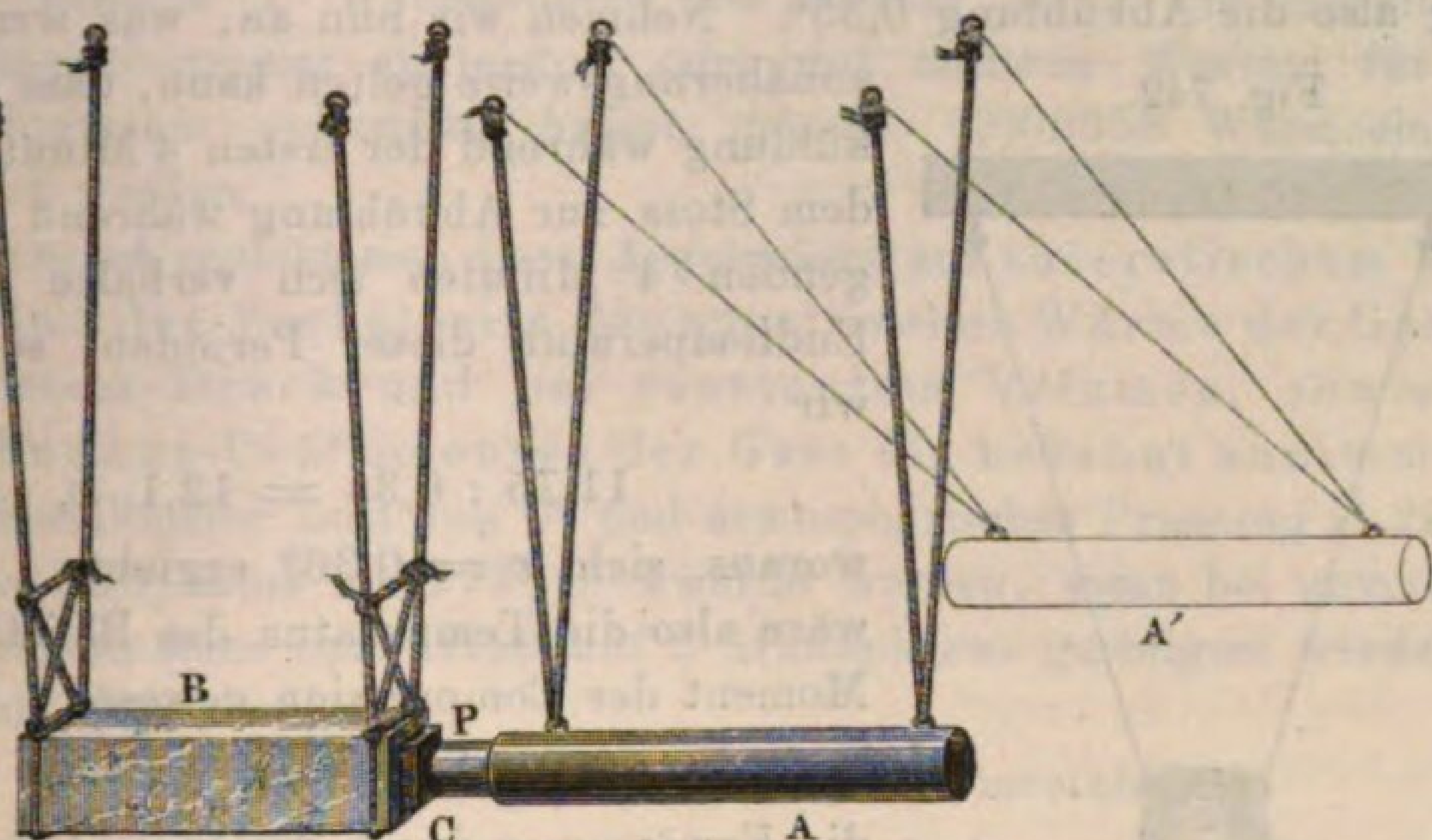
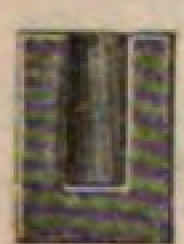


Fig. 741.



das Bleistück aus, welches dadurch zusammengedrückt und erwärmt wurde. Es wurde aber keineswegs die ganze lebendige Kraft des herabfallenden Hammers zur Compression des Bleies verwendet, denn nach dem Stoss fuhren Steinblock und Eisencylinder wieder etwas auseinander. Bei einem derartigen Versuch war

die Fallhöhe des Hammers	1,166	Meter
Steighöhe desselben nach dem Stoss	0,087	„
Steighöhe des Ambosses nach dem Stoss . . .	0,103	„

Die lebendige Kraft, welche der eiserne Hammer durch das Herabfallen erlangt hatte, war also:

$$L = 350 \;.\; 1{,}166 = 408{,}100 \text{ Meterkilogramm;}$$

die lebendige Kraft, mit welcher Hammer und Amboss nach dem Stoss wieder auseinanderfuhren, war aber

$$l = 0{,}103\,(941 + 2{,}95) + 0{,}087 \,.\, 350 = 127{,}677 \text{ Meterkilogramm;}$$

die zur Compression des Bleies aufgewendete lebendige Kraft ist also

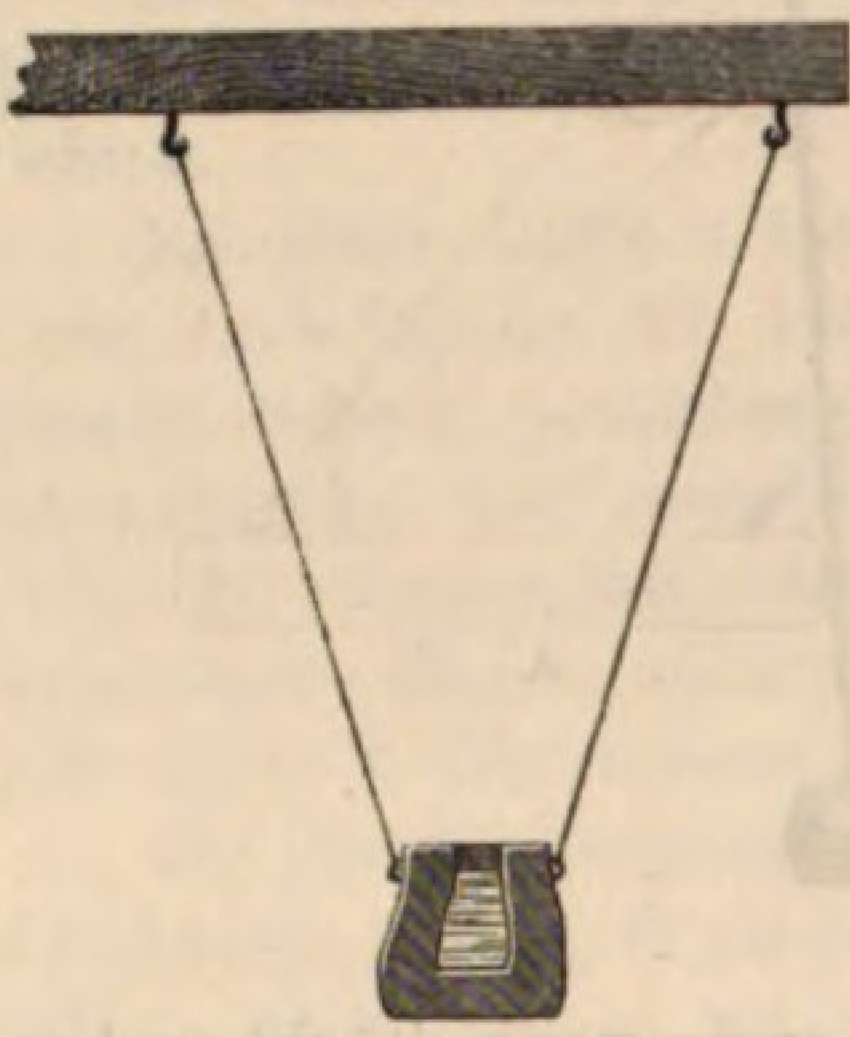
$$L - l = 408{,}100 - 127{,}677 = 280{,}423 \text{ Meterkilogramm.}$$

Um die **Wärmemenge** zu bestimmen, welche durch die Compression des Bleies entwickelt worden war, wurde das Bleistück nach empfangenem Stoss rasch zwischen Hammer und Amboss weggezogen und mittelst zweier Fäden, welche schon vorher an demselben befestigt waren, in der durch Fig. 742 erläuterten Weise aufgehängt. In die Höhlung des comprimirten Bleistücks wurden 18,5 Gramm Wasser von 0^0 eingegossen und die Temperatur desselben, welche nach kurzer Zeit gleich der des Bleies selbst war, mittelst eines eingesenkten Thermometers bestimmt. Diese Temperatur war

4 Minuten nach dem Stoss 12,10°
8 „ „ „ „ 11,75°.

In 4 Minuten, vom Ende der 4ten bis zum Ende der 8ten Minute, betrug also die Abkühlung 0,35°. Nehmen wir nun an, was wenigstens annäherungsweise gelten kann, dass die Abkühlung während der ersten 4 Minuten nach dem Stoss zur Abkühlung während der folgenden 4 Minuten sich verhalte wie die Endtemperatur dieser Perioden, so haben wir

Fig. 742.



$$11{,}75 : 0{,}35 = 12{,}1 . x,$$

woraus sich $x = 0{,}36^0$ ergiebt. Danach wäre also die Temperatur des Bleistücks im Moment der Compression gewesen

$$12{,}10 + 0{,}36 = 12{,}46^0,$$

die Erwärmung durch den Stoss betrug also

$$12{,}46 - 7{,}87 = 4{,}59^0,$$

demnach aber ist die durch den Stoss entwickelte Wärmemenge

$$4{,}59 . 2{,}948 . 0{,}03145 + 12{,}46 . 0{,}0185 = 0{,}656 \text{ Calorien},$$

da 0,03145 die specifische Wärme des Bleies ist.

Dividiren wir die zur Compression des Bleies verwendete Arbeit 280,423 Meterkilogramm durch die entsprechende Wärmemenge 0,656 Calorien, so erhalten wir die zur Hervorbringung von 1 Calorie nöthige Arbeit

$$\frac{280{,}423}{0{,}656} = 427 \text{ Meterkilogramm}.$$

Statt dieser Zahl ergiebt sich 425,2, wenn man die Abkühlung des Bleies nicht näherungsweise, wie es oben geschehen ist, sondern nach genauen Formeln berechnet.

292 **Aequivalenz von Wärme und Arbeit.** Als Mittel aus den besten über diesen Gegenstand angestellten Versuchen ergiebt sich das mechanische Aequivalent der Wärme oder genauer ausgedrückt das Arbeitsäquivalent der Wärmeeinheit gleich

$$424 \text{ Meterkilogramm};$$

demnach aber ist die Wärmemenge A, welche der Arbeitseinheit entspricht,

$$A = \frac{1}{424} = 0{,}002358 \text{ Wärmeeinheiten},$$

d. h. das calorische Aequivalent der Arbeitseinheit sind 0,002358 Wärmeeinheiten; durch den Aufwand von 1 Meterkilogramm können also 0,002358 Wärmeeinheiten erzeugt werden.

Wenn man aber durch mechanische Arbeit Wärme erzeugen kann, so muss auch umgekehrt die Wärme im Stande sein, mechanische Effecte hervorzubringen, und zwar muss der mechanischen Wärmetheorie zufolge 1 Wärmeeinheit im Stande sein, die Arbeit von 424 Meterkilogramm zu leisten, oder mit anderen Worten, für jedes Meterkilogramm geleisteter Arbeit müssen 0,002358 Wärmeeinheiten consumirt werden.

Zunächst ergiebt sich dieses Aequivalent auf theoretischem Wege, wenn man das Verhältniss der specifischen Wärme der Gase bei constantem Druck und bei constantem Volumen, sowie den Ausdehnungs-Coëfficienten der Gase als bekannt annimmt.

1 Kubikmeter Luft von 0^0 und atmosphärischer Pressung (1,293 Kilogramm Luft) muss um 273^0 C. erwärmt werden, wenn bei unverändertem Volumen seine Spannkraft auf 2 Atmosphären gesteigert werden soll. Dazu sind aber nöthig:

$$273 \times 1{,}293 \times 0{,}1686 = 59 \text{ Wärmeeinheiten,}$$

da 0,1686 die specifische Wärme der Luft bei constantem Volumen ist.

Wird aber 1 Cubikmeter Luft von 0^0 und atmosphärischer Pressung bis auf 273^0 C. erwärmt, während sie sich bei constantem Druck frei ausdehnen kann, so wächst ihr Volumen bis auf 2 Cubikmeter, und die dazu nöthige Wärmemenge ist:

$$273 \times 1{,}293 \times 0{,}2377 = 83 \text{ Wärmeeinheiten,}$$

da 0,2377 die specifische Wärme der Luft bei constantem Drucke ist.

Die Differenz 83 — 59 = 24 Wärmeeinheiten ist also nöthig, um, abgesehen von der Temperaturerhöhung, das Gas bei constantem Druck auf das doppelte Volumen auszudehnen. Untersuchen wir nun, wie gross die dabei geleistete mechanische Arbeit ist.

Denken wir uns die besprochene Luftmenge eingeschlossen in einem hohlen Cylinder von 1 Quadratmeter Durchschnitt und oben begrenzt durch einen verschiebbaren Kolben, der sich in seiner Anfangsstellung 1 Meter hoch über dem festen Boden befindet. Auf diesem Kolben lastet die Atmosphäre mit einem Druck von 10333 Kilogrammen. Soll nun die abgesperrte Luft bei unverändertem Druck auf das doppelte Volumen ausgedehnt werden, so muss sie den Kolben um 1 Meter fortschieben, was einer mechanischen Arbeit von 10 333 Kilogrammometern entspricht.

Um eine mechanische Arbeit von 10 333 Kilogrammometern zu verrichten, sind also 24 Wärmeeinheiten nöthig; 1 Wärmeeinheit entspricht also einer mechanischen Arbeit von $\frac{10333}{24} = 430$ Kilogrammometern, ein Resultat, welches mit dem auf dem umgekehrten Wege, nämlich durch Umsetzung mechanischer Arbeit in Wärme erhaltenen, so nahe übereinstimmt, dass wohl kein Zweifel über die vollständige Gegenseitigkeit zwischen mechanischer Arbeit und Wärme mehr stattfinden kann.

Die bisher besprochenen Erfahrungen und Betrachtungen haben nun zur Aufstellung des Satzes geführt, dass

„in allen Fällen, wo durch Wärme Arbeit entsteht, eine der erzeugten Arbeit proportionale Wärmemenge **verschwindet** oder **verbraucht** wird und dass umgekehrt durch Verrichtung einer eben so grossen Arbeit dieselbe Wärmemenge wieder erzeugt werden kann."

Ein Satz, welcher gewöhnlich als das erste Gesetz der mechanischen Wärmetheorie bezeichnet wird und welcher in dieser Bestimmtheit und Allgemeinheit zuerst von Clausius ausgesprochen worden ist. Dieser Satz bildet den Ausgangspunkt der mathematischen Entwickelung der mechanischen Wärmetheorie, über welche der genannte Gelehrte eine Reihe von Aufsätzen in Poggendorff's Annalen veröffentlicht hat. Diese Aufsätze sind kürzlich (1865) in einem Bande gesammelt mit Zusätzen und Erläuterungen begleitet bei Friedrich Vieweg und Sohn in Braunschweig erschienen.

Ausser Clausius haben sich Holzmann, Clapeyron, Rankine u. A. mit der mathematischen Entwickelung der mechanischen Wärmetheorie beschäftigt, Zeuner aber hat sich das Verdienst erworben, die Grundzüge der mechanischen Wärmetheorie in klarer übersichtlicher Form zusammengestellt und mannigfache Anwendungen von derselben gemacht zu haben. (Grundzüge der mechanischen Wärmetheorie. Erste Auflage 1860, zweite Auflage Leipzig 1866.)

Ein weiteres sehr empfehlenswerthes Werk über diesen wichtigen Gegenstand ist die Théorie mecanique de la chaleur von Hirn (2. Aufl. Paris 1865), welcher neben der analytischen Entwickelung auch die experimentale Partie desselben sehr gründlich behandelt.

In allen diesen Schriften ist, wie es nicht anders sein kann, wenn es sich um eine allgemeine und möglichst vollständige Lösung der Aufgabe handelt, die mechanische Wärmetheorie mit einem ziemlichen Aufwand höherer Mathematik entwickelt. In dem Folgenden will ich aber versuchen, wenigstens die wichtigsten Sätze derselben in elementarer Form darzustellen und durch Anwendung derselben auf gesättigte Wasserdämpfe einige wichtige Consequenzen über das Verhalten derselben abzuleiten. Ich hoffe dadurch nicht nur solchen, welchen die Kenntniss der Differential- und Integralrechnung fehlt, eine richtige Vorstellung von dem Wesen und der Bedeutung der mechanischen Wärmetheorie gegeben, sondern auch solchen, welche mit den nöthigen mathematischen Vorkenntnissen ausgestattet sind, eine Art Einleitung, eine Vorbereitung für das eingehendere Studium dieser wichtigen Disciplin geboten zu haben, welche über manche Schwierigkeiten hinaushilft, denen man beim Eintritt in dieselbe aufstösst.

Ehe wir aber zu einer näheren Betrachtung der Grundzüge der mechanischen Wärmetheorie übergehen, wollen wir den der Arbeitsleistung

entsprechenden Wärmeverlust in einigen besonderen Fällen näher betrachten.

Verschwinden von Wärme durch Arbeitsleistung. 293

Dass in der Dampfmaschine für die geleistete Arbeit wirklich eine entsprechende Wärmemenge verschwindet, hat Hirn durch eine in grossem Maassstab angestellte Versuchsreihe nachgewiesen, zu welcher er Dampfmaschinen anwandte, die einen Nutzeffect von 90 bis 150 Pferdekräften lieferten.

Die Maschinen, mit welchen er experimentirte, waren Expansionsmaschinen, bei welchen der Dampf, nachdem er gewirkt hatte, in einen Condensator ausströmte. Um Fehler zu vermeiden, welche dadurch entstehen konnten, dass Wasser mechanisch aus dem Kessel durch die Maschine mitgeführt oder dass schon bei der Expansion Dämpfe condensirt werden, liess Hirn die Maschinen mit überhitztem Dampf arbeiten, was er dadurch erzielte, dass die aus dem Kessel kommenden Dämpfe vor ihrem Eintritt in den Cylinder durch einen eigenthümlichen Apparat bis zu einer bestimmten, an einem Thermometer abzulesenden Temperatur erwärmt wurden.

Die Wassermenge p, welche in einer Secunde im Kessel zur Verdampfung kam und durch die Maschine in den Condensator gelangte, wurde dadurch ermittelt, dass genau die Wassermenge gemessen wurde, welche während der Dauer eines ganzen Tages bei gleichförmiger Arbeit der Maschine und unverändert erhaltenem Wasserstand im Kessel durch die Speisepumpe dem Kessel zugeführt wurde.

In gleicher Weise wurde die in einer Secunde in den Condensator eingespritzte Wassermenge P dadurch ermittelt, dass man die bei gleichförmigem Zufluss während eines ganzen Tages verbrauchte Menge von Condensationswasser bestimmte.

Die Wärmemenge, welche von den in jeder Secunde im Condensator verdichteten Dämpfen abgegeben wird, ergiebt sich auf folgende Weise:

Wenn t die Temperatur ist, bei welcher die Dämpfe im Kessel gebildet werden, so ist die gesammte Wärmemenge, welche 1 Kilogramm Dampf bei dieser Temperatur mehr enthält als 1 Kilogrm. Wasser von 0^0, nach Regnault's Versuchen

$$q_1 = 606{,}5 + 0{,}305\, t \text{ Wärmeeinheiten.}$$

Dieser Dampf wird aber vor seinem Eintritt in den Cylinder der Dampfmaschine noch auf T Grad erwärmt, dazu sind für jedes Kilogramm Dampf weiter nöthig

$$q_2 = 0{,}5\,(T - t) \text{ Wärmeeinheiten,}$$

wenn man, was mit annähernder Richtigkeit geschehen kann, 0,5 für die specifische Wärme des Wasserdampfes setzt.

Die Wärmemenge, welche dieses Kilogramm Wasserdampf verliert, bis es condensirt und auf die Temperatur von f Graden erkaltet ist, mit welchen das Condensationswasser den Condensator verlässt, ist also

$$q_1 + q_2 - f,$$

die ganze Wärmemenge also, welche die in jeder Secunde durch die Maschine wandernde Dampfmenge p abgiebt, ist also

$$Q_1 = p\,(q_1 + q_2 - f),$$
$$Q_1 = p\,[606{,}5 + 0{,}305\,t + 0{,}5\,(T - t) - f].$$

Wenn nun bei der Leistung von Arbeit im Cylinder keine Wärme consumirt würde, so müsste die ganze Wärmemenge Q_1 dem Condensator zugeführt werden und hier zur Erwärmung des Condensationswassers dienen. Ist nun i die Temperatur, mit welcher das Condensationswasser in den Condensator eintritt, f aber die Temperatur, mit welcher es aus demselben austritt, so ist $f - i$ die Wärmemenge, welche jedes Kilogramm Condensationswasser im Condensator aufnimmt, die Wärmemenge Q_2 also, welche in jeder Secunde vom Condensationswasser aufgenommen wird, ist demnach

$$Q_2 = P\,(f - i),$$

es müsste also $Q_1 = Q_2$ sein, wenn keine Wärme für die Arbeit verbraucht würde. Der Versuch zeigt aber in der That, dass $Q_1 - Q_2$ keineswegs gleich Null ist.

Bei einem solchen Versuch, bei welchem das Expansionsverhältniss 1 : 2 war, ergab sich z. B. die Spannkraft des Dampfes im Kessel gleich 4,5 Atmosphären, also $t = 148{,}3^0$. Ferner war

$$T - t = 91{,}7^0$$
$$p = 0{,}34554 \text{ Kilogrm.} \qquad P = 5{,}84004 \text{ Kilogrm.}$$
$$f = 37{,}28^0 \qquad i = 5{,}1^0,$$

daraus berechnet sich

$$Q_1 = 228{,}16 \qquad Q_2 = 187{,}82$$
$$Q_1 - Q_2 = 40{,}34 \text{ Wärmeeinheiten.}$$

Es waren also 40,34 Wärmeeinheiten für die geleistete Arbeit verbraucht worden, während der Nutzeffect der Maschine mittelst des Prony'schen Zaumes gleich 11250 Meterkilogramm gefunden wurde, es kommt also auf eine consumirte Wärmeeinheit

$$\frac{11250}{40{,}34} = 278 \text{ Meterkilogramm}$$

als Nutzeffect.

Bei einem anderen Versuche mit derselben Maschine, bei welchem das Expansionsverhältniss 1 : 6 war, ergaben sich folgende Werthe:

$$t = 152{,}2^0 \qquad T - t = 93^0$$
$$p = 0{,}23548 \text{ Kilogrm.} \qquad P = 5{,}8718 \text{ Kilogrm.}$$
$$f = 26{,}05^0 \qquad i = 3{,}2^0,$$

daraus berechnet sich

$$Q_1 - Q_2 = 158{,}81 - 123{,}3 = 30{,}51 \text{ Wärmeeinheiten,}$$

während der Nutzeffect der Maschine gleich 8700 Meterkilogramm gefunden wurde, auf eine consumirte Wärmeeinheit kommen also

$$\frac{8700}{30,51} = 285 \text{ Meterkilogramm.}$$

Man sieht also aus diesen Versuchen nicht allein, dass für mechanische Arbeit wirklich Wärme consumirt wird, sondern auch dass der Nutzeffect der Dampfmaschinen sehr nahe dem Wärmeverlust proportional ist.

Man könnte aus diesen Versuchen selbst das mechanische Aequivalent der Wärme berechnen, wenn der gemessene Nutzeffect gleich der ganzen vom Dampf geleisteten Arbeit wäre. Nehmen wir nun an, der Nutzeffect dieser Maschine betrüge ungefähr 70 Procent der gesammten vom Dampf geleisteten Arbeit, so würde sich als Mittel der beiden obigen Versuche das mechanische Aequivalent der Wärme gleich 400 Meterkilogramm ergeben.

In ähnlicher Weise leitet Clausius aus einer grösseren Reihe von Versuchen, welche Hirn mit Dampfmaschinen anstellte, als Mittelwerth die Zahl 413 für das mechanische Aequivalent der Wärme ab.

Nimmt man das mechanische Aequivalent der Wärme gleich 424 an, so würde aus den beiden oben näher besprochenen Versuchen sich ergeben, dass der Nutzeffect jener Maschinen ungefähr 66 Procent der ganzen vom Dampf geleisteten Arbeit betrüge.

Jeder Process, welcher Wärme zu produciren im Stande ist, kann auch mechanische Arbeit verrichten; eine solche Arbeitsleistung ist aber stets von einer entsprechenden Wärmeconsumtion begleitet oder mit anderen Worten, die durch einen bestimmten Process producirte Wärmemenge erleidet eine entsprechende Verminderung, wenn neben der Wärmeerzeugung auch noch mechanische Arbeit geleistet wird.

Es wird dieser Satz sehr schön durch die elektromagnetischen Motoren erläutert. Wenn ein elektrischer Strom die Drahtwindungen einer Magnetisirungsspirale durchläuft, so wird der Draht erwärmt und zwar ist die in einer gegebenen Zeit in der ganzen Kette producirte Wärmemenge

$$w = k \cdot s^2 l,$$

wenn s die Stromstärke, l den gesammten Leitungswiderstand der Kette und k einen constanten Factor bezeichnet. Die producirte Wärmemenge ist aber unter gleichen Umständen stets der Zinkconsumtion in der Säule proportional (locale Wirkung natürlich unberücksichtigt).

Wäre z. B. die Drahtleitung um so viel verlängert worden, dass dadurch der gesammte Leitungswiderstand der Kette verdoppelt, also auf $2l$ gestiegen wäre, so wäre dadurch die Stromstärke und die Zinkconsumtion auf die Hälfte reducirt worden; die durch den Strom producirte Wärme wäre aber

$$w' = k \cdot \frac{s^2}{4} \cdot 2l = \frac{1}{2} k \cdot s^2 l = \frac{1}{2} w,$$

mit der Stromstärke und der Zinkconsumtion wäre also auch die Wärmeproduction auf die Hälfte reducirt worden.

Ganz anders stellt sich die Sache heraus, wenn die Verminderung der Stromstärke nicht durch Vermehrung des Leitungswiderstandes, sondern durch eine Arbeitsleistung hervorgebracht wird.

In §. 137 haben wir gesehen, dass die Stärke des Stromes, welcher irgend einen im Ruhezustand befindlichen elektromagnetischen Motor durchläuft, sogleich abnimmt, wenn derselbe zu rotiren beginnt und zwar dass der Strom um so schwächer wird, je rascher die Rotation ist.

Nehmen wir nun an, man habe die Belastung der Maschine so geregelt, dass die Stromstärke der rotirenden Maschine gerade halb so gross sei als in der ruhenden, so wird bei der auf die Hälfte verminderten Stromstärke auch die Zinkconsumtion auf die Hälfte reducirt sein; in einem ganz anderen Verhältniss hat aber nun die Wärmeproduction abgenommen. Da jetzt die Stromstärke $\frac{1}{2}\, s$, der Leitungswiderstand aber noch der gleiche ist, wie bei der ruhenden Maschine, nämlich l, so haben wir für die producirte Wärmemenge

$$w'' = \frac{1}{4} k \,.\, s^2 \,.\, l = \frac{1}{4} w.$$

Die auf die Hälfte reducirte Zinkconsumtion bringt also nur eine auf $\frac{1}{4}$ reducirte Wärmemenge hervor, ein Theil der Zinkconsumtion ist also nicht für Wärmeproduction, sondern für Leistung mechanischer Arbeit verbraucht oder mit anderen Worten, für die verschwundene Wärmemenge $\frac{1}{4} w$ ist eine äquivalente mechanische Arbeit geleistet worden.

Einem ganz ähnlichen Verhältniss begegnen wir, wenn wir die Arbeitsleistung durch menschliche oder thierische Kräfte untersuchen. Die thierische Wärme wird bekanntlich durch eine langsame, durch den Athmungsprocess unterhaltene Verbrennung erzeugt. Für den Sauerstoff, den wir einathmen, wird Kohlensäure und Wasserdampf ausgehaucht, mit jedem Athemzuge tritt also ein bestimmtes Quantum Kohlenstoff und Wasserstoff aus dem Körper aus, mit jedem Athemzuge muss also die Körpermasse eine entsprechende Verminderung erfahren, welche sich, wenn auch nicht für den einzelnen Athemzug, so doch für die Zeitdauer einiger Stunden durch die Wage nachweisen lässt. Dieser durch den Athmungsprocess bedingte Verlust der Körpermasse muss eben durch Einnahme von Nahrung wieder ersetzt werden.

Das Verhältniss zwischen Wärmeproduction und dem Verbrauch an Körpermaterial stellt sich aber ganz anders heraus, je nachdem man entweder in völliger Ruhe verbleibt oder eine mehr oder weniger bedeutende mechanische Arbeit verrichtet. Die Wärmeproduction und Sauerstoffconsumtion (mithin auch die Gewichtsabnahme des Körpers) reduciren sich auf ein Minimum, wenn man in völliger Unthätigkeit einige Zeit ruhig sitzen oder liegen bleibt. Wenn man aber eine anstrengende Arbeit verrichtet, so findet sich, dass in der gleichen Zeit die Sauerstoffconsumtion (also auch die Gewichtsabnahme des Körpers) eine viel bedeutendere ist. Bei schnel-

lerem Athmen und rascherem Pulsschlag ist nun allerdings auch die Wärmeproduction im Körper eine vermehrte, nach den Principien der mechanischen Wärmetheorie ergiebt sich aber, dass die Wärmeproduction nicht proportional der Sauerstoffconsumtion zugenommen haben kann, dass der vermehrte Stoffwechsel im Körper nur theilweise zu erhöhter Wärmeproduction verwendet, der Rest aber für die Leistung mechanischer Arbeit consumirt worden ist.

Die Richtigkeit dieser Consequenz hat Hirn durch eine Reihe umsichtig und sorgfältig angestellter Versuche bestätigt. Er begab sich in ein aus tannenen Brettern construirtes hermetisch verschlossenes Häuschen, welches durch Glasfenster erhellt einen Inhalt von ungefähr 4 Cubikmetern hatte. An dem einen Ende des Häuschens befand sich ein Stuhl, auf welchem er sass, wenn es sich um die Wärmeentwickelung beim Ruhezustande handelte. Am anderen Ende befand sich ein Tretrad, dessen Axe luftdicht durch die Wand des Häuschens hindurchgehend ausserhalb mit einer entsprechenden Vorrichtung so verbunden war, dass durch die Umdrehung des Rades eine mechanische Arbeit geleistet wurde. Die Grösse der bei jeder Umdrehung des Rades geleisteten mechanischen Arbeit ist offenbar gleich der Hebung der Körperlast des Experimentators auf eine Höhe, welche gleich ist dem Umfang des Rades. Da nun mittelst eines an der Axe des Tretrades angebrachten Zählerwerkes die Anzahl der in einer beliebigen Zeit gemachten Umdrehungen ermittelt werden konnte, so liess sich also mit grosser Genauigkeit die Grösse der in einer Stunde verrichteten äusseren mechanischen Arbeit bestimmen.

Vor dem Mund des Experimentators war ein Ventilapparat befestigt, von welchem eine Kautschukröhre zu einem geaichten Gasometer führte, welches die zum Athmen nöthige Luft lieferte, während ein zweites Kautschukrohr zu einem gleichfalls geaichten Gasometer führte, welches die ausgeathmeten Gase aufnahm. Die eingeathmete und die ausgeathmete Luft wurde mit Sorgfalt analysirt.

Das Häuschen war in der Mitte eines grösseren Zimmers aufgestellt, dessen Temperatur sich nur wenig und nur langsam änderte. Empfindliche Thermometer gaben die Temperatur im Inneren des Häuschens und die der umgebenden Luft an. Erst wenn während der Ruhe oder während des Arbeitens das innere Thermometer stationär geworden war, wurde sein Stand notirt und der Ventilapparat vor den Mund gesetzt, so dass die Sauerstoffconsumtion während eines ungeändert bleibenden Zustandes des Experimentators ermittelt wurde.

Es ist klar, dass wenn das innere Thermometer zu steigen aufhörte, die Wärmeverluste des Häuschens durch seine Wände gleich geworden sind der Wärmemenge, welche der Experimentator entwickelt. Durch eine Reihe vorläufiger Versuche hatte nun Hirn ermittelt, welche Wärmemengen im Inneren des Häuschens entwickelt werden mussten, um bestimmte Temperaturdifferenzen zwischen Innen und Aussen zu erhalten. Es geschah dies dadurch, dass er im Inneren des Häuschens eine Wasser-

stoffflamme brennen liess, welche durch einen constanten Strom dieses Gases unterhalten wurde. Für eine bestimmte Grösse der Flamme wird, wenn der Gleichgewichtszustand erreicht ist, ein bestimmter Temperaturunterschied zwischen Innen und Aussen stattfinden und wenn man die während einer gegebenen Zeit consumirte Menge von Wasserstoff ermittelt, so kann man danach berechnen, welche Wärmequantität in dieser Zeit entwickelt worden ist, da man ja weiss wieviel Wärmeeinheiten durch die Verbrennung von 1 Gramm Wasserstoff entwickelt werden (§. 277). Aus der Wiederholung dieser Versuche für verschiedene Flammengrössen erhielt er das empirische Gesetz, nach welchem der Temperaturüberschuss im Inneren von der hier entwickelten Wärmemenge abhängt, und er konnte danach bei den späteren Versuchen aus der beobachteten Temperaturdifferenz auf die durch den Experimentator entwickelte Wärmemenge schliessen.

Als bei einem solchen Versuche Hirn selbst sich in dem Häuschen aufhielt, ergab sich, dass bei vollkommener Ruhe 29,65 Gramm Sauerstoff in der Stunde consumirt wurden, während die Wärmeentwickelung in dieser Zeit 155 Calorien betrug, also $\frac{155}{29,65}$ oder 5,22 Wärmeeinheiten auf 1 Gramm Sauerstoff.

Als dagegen der Experimentator an dem Tretrad arbeitete und zwar so, dass die in einer Stunde geleistete Arbeit 27 448 Meterkilogramm betrug, wurden 131,74 Gramm Sauerstoff in der Stunde verzehrt, während die in derselben Zeit entwickelte Wärmemenge den Thermometerablesungen zufolge 251 Wärmeeinheiten betrug.

Im Zustande der Ruhe würden aber die consumirten 131,74 Gramm Sauerstoff $131,74 \times 5,22 = 687,68$ Wärmeeinheiten, also 436,68 mehr entwickelt haben, als in der That entwickelt worden sind, statt der verschwundenen 436,68 Wärmeeinheiten ist aber nun Arbeit geleistet worden und zwar theils äussere am Tretrad, theils innere im Organismus selbst.

Bei einem zweiten Versuch betrug die in einer Stunde geleistete äussere Arbeit 20750 Meterkilogramm, während 112,2 Gramm Sauerstoff verzehrt und 255,6 Wärmeeinheiten producirt wurden.

Diese 112,2 Gramm Sauerstoff würden im Ruhezustande 585,7 Wärmeeinheiten geliefert haben, also $585,7 - 255,6 = 330,1$, also 330,1 Wärmeeinheiten mehr als der Versuch zeigt. Diese 330,1 Wärmeeinheiten sind also für mechanische Arbeit verbraucht worden.

Die in beiden Versuchen für mechanische Arbeit consumirten Wärmemengen 436,68 und 330,1 stehen aber in der That im Verhältniss zu der geleisteten äusseren Arbeit, denn aus der Proportion

$$330,1 : 436,68 = 20\,750 : x$$

ergiebt sich $x = 27\,450$, was mit der beobachteten Zahl 27448 ziemlich nahe übereinstimmt.

Ein kräftiges Pferd ist, wenn es ruhig im Stalle stehen bleibt, reichlich ernährt mit 7,5 Kilogramm Heu und 2,5 Kilogramm Hafer, welche zusammen 4 Kilogramm Kohlenstoff enthalten.

Sobald aber das Pferd arbeitet, genügt diese Nahrung nicht; es müssen, wenn es im guten Zustand erhalten werden soll, 5,5 Kilogramm Hafer zugesetzt werden, welche 2,2 Kilogramm Kohlenstoff enthalten. An einem Arbeitstage werden dem Körper des Pferdes also 6,2 Kilogramm Kohlenstoff zugeführt.

Da eine Pferdekraft in einer Secunde eine Arbeit von 75 Meterkilogrammen leistet, so ist die von einem Pferde in 8 Stunden geleistete Arbeit = 75 . 60 . 60 . 8 oder

2 160 000 Meterkilogrammen.

Nach den Versuchen von Favre und Silbermann (Bd. II, S. 869) werden durch Oxydation von 1 Kilogramm Kohlenstoff 8080 Wärmeeinheiten entwickelt, was einer mechanischen Arbeit von 8080 . 424 oder

3 425 920 Meterkilogrammen

entspricht. Die von dem Pferde geleistete Tagesarbeit von 2 160 000 Meterkilogramm entspricht also einer Kohlenstoffconsumtion von

$$\frac{2\,160\,000}{3\,425\,920} = 0{,}63 \text{ Kilogrammen.}$$

Von den an einem Arbeitstage dem Pferdekörper in der Nahrung zugeführten 6,2 Kilogramm Kohlenstoff werden also nur 0,63, also ungefähr $^1/_{10}$, zur Leistung mechanischer Arbeit verwendet, der Rest wird theilweise zur Erhaltung des thierischen Lebens, zur Wärmeproduction verbraucht, zum Theil geht er unoxydirt durch den Körper durch.

Nach Boussingault werden nur 65 Procent des eingenommenen Kohlenstoffs im Körper oxydirt, indem 35 Procent unverbrannt wieder abgehen. Von den 4 Pfund Kohlenstoff, welche das ruhende Pferd täglich in der Nahrung zu sich nimmt, kommen also nur 2,6 Pfund, von den an Arbeitstagen weiter eingenommenen 2,2 Kilogramm Kohlenstoff kommen nur 1,4 Kilogramm im Körper des Pferdes zur Oxydation.

An einem Ruhetage werden also in dem Körper des Pferdes

8080 . 2,6 = 21 008 Wärmeeinheiten

producirt. Von den an einem Arbeitstage weiter im Pferdekörper oxydirten 1,4 Kilogramm Kohlenstoff werden aber 0,63 zur Leistung mechanischer Arbeit consumirt, während die übrigen 0,77 Kilogramm (1,4—0,63) die gesteigerte Wärmeproduction von

8080 . 0,77 = 6221 Einheiten

liefern. An einem Arbeitstage steigt also die im Pferdekörper entwickelte Wärme auf

27 229 Einheiten,

während nur 8080 . 0,63

5090 Wärmeeinheiten

in Arbeit umgesetzt werden.

294 **Elemente der mechanischen Wärmetheorie.** Wenn man die Wärme als Molekularbewegung auffasst, so ist die Temperatur eines Körpers proportional der lebendigen Kraft zu setzen, welche den irgendwie sich bewegenden, etwa um ihre Gleichgewichtslage vibrirenden Körperatomen innewohnt. Eine Erhöhung der Temperatur besteht demnach in einer Vermehrung dieser lebendigen Kraft, also in einer vergrösserten Geschwindigkeit der Molekularbewegung.

Nicht alle einem Körper zugeführte Wärme dient aber zu seiner Temperaturerhöhung, nicht alle ihm zugeführte Wärme wird also zur Vermehrung der lebendigen Kraft seiner Molekularvibrationen verwendet, denn ein Theil derselben kann unter Umständen consumirt werden, um Molekularkräfte zu äquilibriren, welche zwischen den einzelnen Körperatomen thätig sind und welche der freien Bewegung derselben hindernd entgegentreten. Diese letztere Wärme, welche Clausius als die zu innerer Arbeit verbrauchte bezeichnet, wird gewöhnlich latente oder gebundene Wärme genannt.

Bezeichnen wir die freie Wärme eines Körpers mit T, die gebundene Wärme, welche er enthält, mit L, so ist die ganze im Körper enthaltene Wärmemenge

$$U = T + L.$$

W. Thomson hat für diese zuerst von Clausius in die Wärmelehre eingeführte Grösse den Namen Energie des Körpers vorgeschlagen; die beiden Bestandtheile von U bezeichnet aber Clausius neuerdings als Wärmeinhalt (T) und Werkinhalt (L).

Wenn nun einem Körper von der Temperatur t und dem Volumen v, in welchem die gesammte Wärmemenge U (Energie) enthalten ist, so viel Wärme zugeführt werden soll, dass seine Temperatur um t'^0, sein Volumen um v' Cubikmeter und die innere in ihm enthaltene Wärmemenge um U' wächst, so wird es nicht genügen, ihm diese Wärmemenge U' zuzuführen, weil durch die gleichzeitig erfolgte Ausdehnung des Körpers um v' eine äussere Arbeit verrichtet worden ist, welche eine entsprechende Wärmemenge consumirt.

Es sei p der Druck, unter welchem der Körper steht, so ist die äussere Arbeit, welche der Volumenvergrösserung v' entspricht, pv', vorausgesetzt, dass der Druck p während der ganzen Ausdehnung ungeändert bleibt; die dieser Arbeit entsprechende Wärmemenge ist aber

$$w = Apv'.$$

Die Wärmemenge also, welche dem besprochenen Körper zugeführt werden muss, um seine Temperatur von t auf $t + t'$, sein Volumen von v auf $v + v'$ und die in ihm enthaltene Wärme von U auf $U + U'$ zu erhöhen, ist demnach

$$q = U' + Apv' \quad \text{. I)}$$

eine Gleichung, welche der Differentialgleichung

$$dQ = dU + Apdv \quad \text{. Ia)}$$

entspricht, in welcher dQ die sehr kleine Wärmemenge bezeichnet, welche man dem Körper zuführen muss, damit die innere Wärme des Körpers den kleinen Zuwachs dU erfahre und sein Volumen um die kleine Grösse dv wachse.

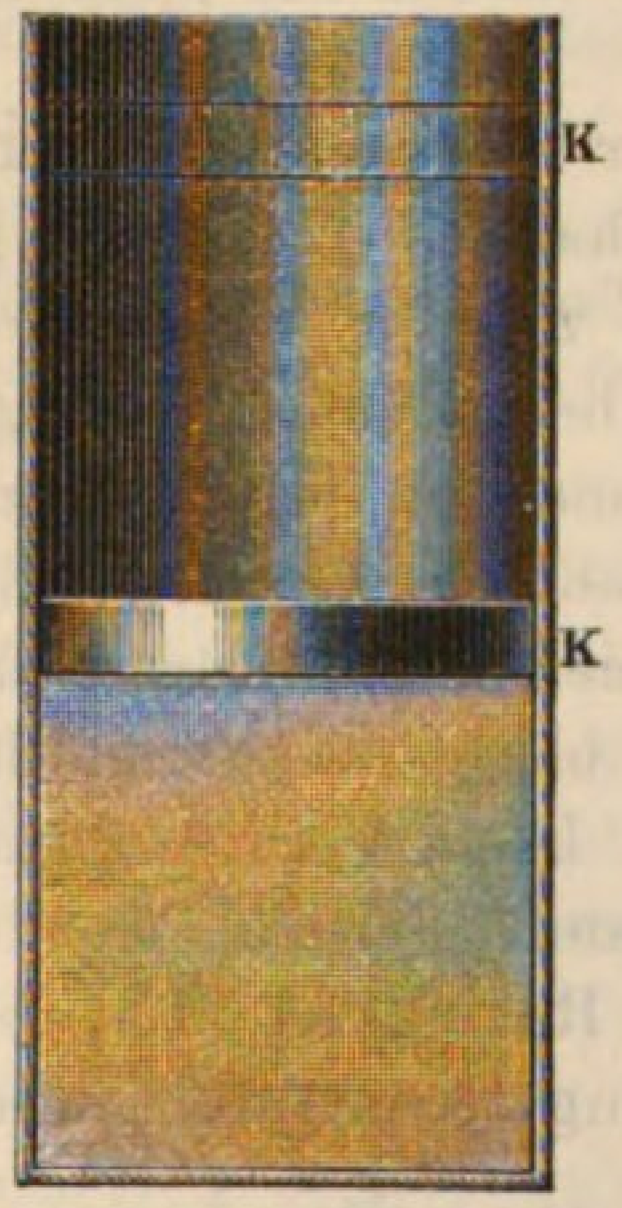
Die Gleichung I) oder vielmehr eine ihr entsprechende Differentialgleichung ist der mathematische Ausdruck des ersten Gesetzes der mechanischen Wärmetheorie. Mit Hülfe dieser Gleichung kann man die Wärmemenge berechnen, welche bei einer gegebenen Volumenänderung eines Körpers verschwindet, welcher sich unter einem gegebenen Druck befindet, vorausgesetzt, dass man die ganze dabei geleistete Arbeit kennt, was aber nur dann der Fall ist, wenn man lediglich mit äusserer Arbeit zu thun hat, ohne dass irgend welche innere von Molekularkräften herrührende Arbeit hinzutritt, welche sich einer directen Messung entzieht.

Das erste Gesetz der mechanischen Wärmetheorie genügt also nur dann zur Lösung der entsprechenden Aufgaben, wenn in der Grösse U' der Gleichung I) oder in dU der Gleichung I a) nicht eine innere Arbeit enthalten ist, eine Bedingung, welcher nur vollkommen gasförmige Körper genügen.

Die folgenden Beispiele mögen die Anwendung des ersten Gesetzes der mechanischen Wärmetheorie auf gasförmige Körper erläutern.

In einem hohlen Cylinder, Fig. 743, von 1 Quadratmeter Querschnitt befinde sich 1 Meter über dem Boden ein luftdicht schliessender leicht beweglicher Kolben K; der durch diesen Kolben abgesperrte Raum von 1 Cubikmeter sei mit atmosphärischer Luft von 0⁰ gefüllt, während auf dem Kolben der Druck der Atmosphäre lastet, also der Gesammtdruck, welcher den Kolben niederzudrücken strebt, 10 333 Kilogramm ist.

Fig. 743.



Wird diese Luftmasse bei unverändertem Druck um 273⁰ erwärmt, so dehnt sie sich auf das Doppelte ihres ursprünglichen Volumens aus, der Kolben wird während dieser Ausdehnung um 1 Meter in die Höhe geschoben, also in die Lage K' gebracht. Die dabei verrichtete Arbeit ist

10 333 Meterkilogramm

und die zur Leistung dieser Arbeit consumirte Wärmemenge Apv' ist in diesem Falle

$$\frac{10\,333}{424} = 24{,}37 \text{ Wärmeeinheiten.}$$

Die Gesammtwärme q, welche man einem Cubikmeter Luft von 0⁰ und atmosphärischer Pressung (1,293 Kilogramm Luft) zuführen muss, um dieselbe auf 273⁰ zu erwärmen, während sie sich bei unverändertem Druck auf das Doppelte ihres Volumens ausdehnt, ist

$$273 \,.\, 1{,}293 \,.\, 0{,}2377 = 83 \text{ Wärmeeinheiten,}$$

da die specifische Wärme der Luft bei constantem Druck gleich 0,2377 ist; wir haben also

$$83 = U' + 24{,}37$$

oder

$$U' = 83 - 24{,}37 = 58{,}63.$$

Von den 83 Wärmeeinheiten also, welche man den 1,293 Kilogramm Luft zugeführt, um ihre Temperatur von 0^0 auf 273^0 zu erhöhen, während sie sich bei unverändertem Druck auf das Doppelte ihres ursprünglichen Volumens ausdehnte, sind also 58,63 Wärmeeinheiten in dieselbe übergegangen, die übrigen 24,37 Wärmeeinheiten wurden verbraucht, um die Arbeit zu verrichten, welche mit der Ausdehnung der Luft verbunden ist.

Um also die Temperatur von 1,293 Kilogramm Luft von 0^0 auf 273^0 zu erhöhen, während das Volumen der Luft ungeändert bleibt, also keine äussere Arbeit verrichtet wird, sind also nur

58,63 Wärmeeinheiten

nöthig. Die specifische Wärme der Luft bei constantem Druck verhält sich demnach zur specifischen Wärme der Luft bei constantem Volum wie 83 : 58,63 oder wie 1,415 : 1, während man auf anderem Wege dieses Verhältniss gleich 1,421 zu 1 gefunden hat.

Wir haben hier das mechanische Aequivalent der Wärme als bekannt vorausgesetzt und von diesem ausgehend das Verhältniss der specifischen Wärme der Luft bei constantem Druck und constantem Volum abgeleitet, während in §. 292 der umgekehrte Weg verfolgt wurde, indem man dieses letztere Verhältniss als bekannt annahm und daraus das mechanische Aequivalent der Wärme ableitete.

Die Wärmemenge q, welche man einem Körper zuführen muss, um seine Temperatur von t auf $t + t'$, die in ihm enthaltene Wärmemenge von U auf $U + U'$ und sein Volumen von v auf $v + v'$ zu erhöhen, ist keineswegs unter allen Umständen dieselbe, denn bei gleichem Anfangs- und Endzustand kann doch die Arbeit, welche während der Ueberführung aus dem ersteren in den letzteren geleistet wird, sehr verschieden sein. Die Gleichung I) ist eigentlich nur für einen speciellen Fall construirt, nämlich für den Fall, dass der Druck p ungeändert bleibt, während das Volumen des Körpers von v auf $v + v'$ wächst. Diese Voraussetzung kann aber nur so lange als allgemein gültig anerkannt werden, als der Zuwachs v' des Volumens klein genug ist, um als Raumdifferential betrachtet zu werden, wie dies bei der der Gleichung I) entsprechenden Differentialgleichung I a) der Fall ist.

Wenn aber die Volumenvergrösserung v' eine einigermaassen bedeutende ist, so kann unter Umständen während dieser Raumvergrösserung der Druck p sich so wesentlich ändern, dass die während der Ausdehnung von v auf $v + v'$ geleistete Arbeit sich nicht mehr einfach durch das Product pv' ausdrücken lässt. Hier tritt nun der Fall ein, wo unbedingt höhere Rechnung in Anwendung gebracht werden muss, wenn es sich

um einen genauen Ausdruck für die geleistete Arbeit handelt. Mit elementaren Hülfsmitteln kann man in solchen Fällen durch umständliche Rechnungen doch nur zu angenäherten Werthen gelangen.

Gehen wir, um dies verständlicher zu machen, zur Betrachtung eines speciellen Falles über. Wir haben oben die Wärmemenge q berechnet, welche erforderlich ist, um 1 Cubikmeter Luft von 0^0 und unter atmosphärischem Druck stehend, auf 273^0 zu erwärmen, während sich die Luft bei unverändertem Druck auf das Doppelte ihres ursprünglichen Volumens ausdehnt.

Hier ist der Endzustand 2 Cubikmeter Luft von 273^0 Temperatur und 1 Atmosphäre Spannkraft. Derselbe Endzustand kann aber von dem gleichen Anfangszustand ausgehend auch noch auf anderem Wege erreicht werden. Der Kolben, Fig. 743, sei wieder in seiner Anfangsstellung K und unter demselben befinde sich im Cylinder 1 Cubikmeter Luft von 0^0 und unter atmosphärischem Druck stehend; die Belastung des Kolbens sei also 10 333 Kilogramm.

Die Belastung werde nun nach und nach bis auf die Hälfte vermindert, so wird sich die Luft allmälig ausdehnen und den Kolben in die Höhe schieben; es soll nun zunächst der Luft so viel Wärme zugeführt werden, dass bei unveränderter Temperatur von 0^0 der Kolben um 1 Meter in die Höhe geschoben, das Volumen der Luft also verdoppelt wird.

Genau lässt sich die dazu nöthige Wärmemenge nur mit höherer Rechnung bestimmen, ein angenäherter Werth lässt sich aber auch auf elementarem Wege ermitteln. Denken wir uns den Weg von K bis K', Fig. 743, in zehn gleiche Theile getheilt, so dass jede Abtheilung eine Länge von $^1/_{10}$ Meter hat, so wird der Druck der eingeschlossenen Luft (vorausgesetzt, dass ihre Temperatur unverändert 0^0 bleibt) gegen die untere Fläche des Kolbens am untern Ende jeder Abtheilung der Reihe nach gleich 1, $^{10}/_{11}$, $^{10}/_{12}$, $^1/_{13}$ $^{10}/_{19}$ Atmosphäre sein.

Nehmen wir nun an, was jedenfalls nicht viel von der Wahrheit abweicht, dass der Druck, welcher gegen die untere Fläche des Kolbens wirkt, constant bleibe, während er eine der besprochenen Abtheilungen durchläuft, dass er gleich bleibe dem Druck, welchen die abgesperrte Luft gegen ihn ausübt, wenn er sich eben am untern Ende der entsprechenden Abtheilung befindet, so ist die mechanische Arbeit, welche verrichtet wird, während der Kolben die einzelnen Abtheilungen durchläuft, der Reihe nach

$$10333 . 1 . {}^1/_{10},\ 10333\,{}^{10}/_{11} . {}^1/_{10},\ 10333\,{}^{10}/_{12} . {}^1/_{10} \ldots . \ 10333\,{}^{10}/_{19} . {}^1/_{10}.$$

Die Summe der Arbeit, welche geleistet wird, während sich der Kolben unter den angegebenen Umständen von K bis K' bewegt, ist demnach

$$L = 10333 . {}^1/_{10} (1 + {}^{10}/_{11} + {}^{10}/_{12} + {}^{10}/_{13} \ldots . {}^{10}/_{19})$$

$$L = 10333 ({}^1/_{10} + {}^1/_{11} + {}^1/_{12} + \ldots . {}^1/_{19}).$$

Die Summe der unter der Klammer stehenden Brüche, welche man

am einfachsten erhält, wenn man sie in Decimalbrüche verwandelt und dann addirt, ist 0,718, also auch

$$L = 10333 . 0{,}718$$

und die zur Leistung dieser Arbeit nöthige Wärmemenge beträgt

$$w' = \frac{L}{424} = \frac{10333 . 0{,}718}{424} = 17{,}49$$

Wärmeeinheiten.

Wenn nun der Kolben festgestellt wird, so dass keine weitere Ausdehnung der Luft mehr möglich ist, so sind weitere 58,63 Wärmeeinheiten nöthig, um die Temperatur der abgesperrten Luft von 0^0 auf 273^0 zu erhöhen, wobei dann ihre Spannkraft auch von $\frac{1}{2}$ bis auf 1 Atmosphäre steigt.

Der Endzustand der Luft ist also genau derselbe wie in dem oben betrachteten Fall, wo sich die Luft unter constantem Druck ausdehnte. Die zur Erreichung des fraglichen Endzustandes erforderliche Wärmemenge ist aber in letzterem Falle nur

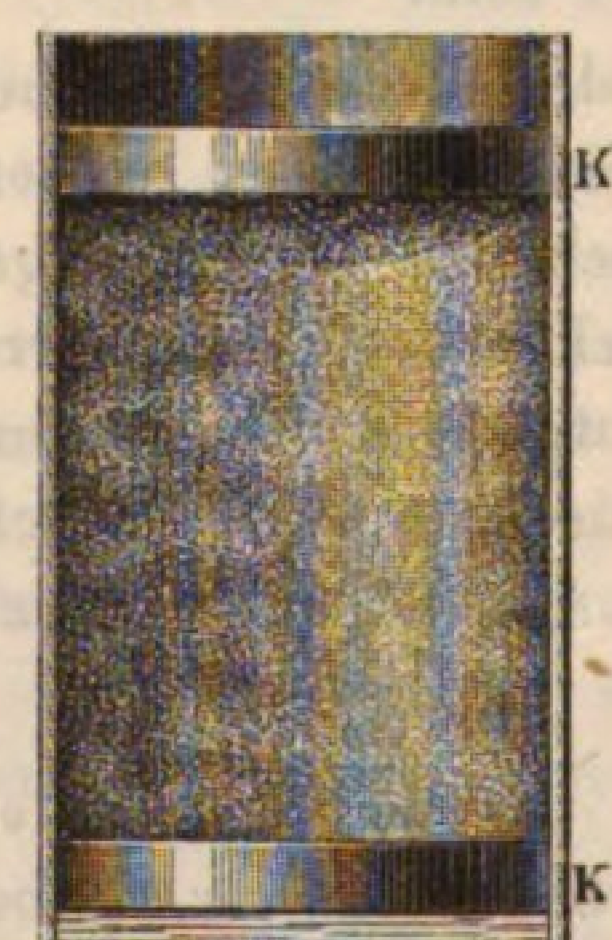
$$58{,}63 + 17{,}49 = 76{,}14,$$

während sie in dem ersten Falle gleich 83 war.

Die Wärmemenge also, welche man einem Körper zuführen muss, um ihn von einem gegebenen Anfangszustand ausgehend in einen bestimmten Endzustand überzuführen, ist also keineswegs eine unveränderliche Grösse, sondern sie ist abhängig von der Grösse der mechanischen Arbeit, welche während dieser Ueberführung geleistet wird.

295 **Anwendung der mechanischen Wärmetheorie auf Wasserdämpfe.** Auf dem Boden eines hohlen Cylinders von 1 Quadratmeter Querschnitt befinde sich 1 Liter Wasser von 0^0 und auf dieses sei ein Kolben K, Fig. 744, direct aufgesetzt, auf welchem ein Druck p lastet. Dieser Druck p sei derjenige, welcher gleich ist der Spannkraft des gesättigten Wasserdampfes von t^0 C. Die Tabelle auf Seite 914 und 915 enthält nach Regnault's Versuchen die Werthe von p für die in der ersten Columne angegebenen Temperaturen, und zwar ist hier p der Druck, welchen der gesättigte Dampf der entsprechenden Temperatur auf 1 Quadratmeter ausübt.

Fig. 744.



Das Wasser unter dem Kolben werde nun von 0^0 bis t^0 erwärmt, so wird es sich dabei um eine Grösse ausdehnen, welche wir bei unseren gegenwärtigen Betrachtungen ignoriren können. Behufs dieser Temperaturerhöhung ist eine Wärmemenge

$$W = t + 0{,}00002\, t^2 + 0{,}0000003\, t^3$$

nöthig, wenn man die Veränderlichkeit der specifischen Wärme des Wassers berücksichtigt, während $W = t$ wäre, wenn man die specifische Wärme des Wassers constant gleich 1 setzte. Hierbei ist diejenige Wärmemenge als Einheit zu nehmen, welche nöthig ist, um die Temperatur von 1 Kilogramm (1 Liter) Wasser von 0^0 auf 1^0 C. zu erhöhen. Während dieser Temperaturerhöhung von 0^0 auf t^0 kann noch kein Dampf gebildet werden.

Setzen wir aber die Wärmezuführung fort, so beginnt jetzt die Dampfbildung und zwar hat der Dampf gerade die Spannung p; er schiebt den Kolben zurück und der frei werdende Raum füllt sich fortwährend mit frischem Dampf von gleicher Spannung, bis endlich alles Wasser in Dampf verwandelt ist. In diesem Momente ist das Ziel erreicht; die Wärme, welche man dem Wasser von t^0 während der Dampfbildung bei constantem Drucke zuführen musste, werde mit r bezeichnet. Diese Wärmemenge r nennt man gewöhnlich die gebundene oder latente Wärme, denn sie verschwindet für das Thermometer, weil während des ganzen Vorganges die Temperatur t unverändert bleibt.

Die ganze Wärmemenge, die man unter den gemachten Voraussetzungen dem Wasser von 0^0 zuführen musste, um es in Dampf von t^0 und der entsprechenden Spannung p zu verwandeln, ist demnach

$$Q = W + r.$$

Nach Regnault's Versuchen ist aber die für den fraglichen Zweck erforderliche Wärmemenge

$$Q = 606,5 + 0,305\,t$$

(Seite 750), folglich ist auch, da $r = Q - W$

$$r = 606,5 - 0,695\,t - 0,00002\,t^2 - 0,0000003\,t^3.$$

Statt dieses Werthes von r bringt Clausius den Näherungswerth

$$r = 607 - 0,708\,t \qquad \ldots\ldots\ldots\ 1)$$

in Anwendung, nach welchem die Zahlenwerthe der sechsten Verticalreihe der Tabelle auf Seite 914 berechnet sind, während die fünfte Columne die entsprechenden Werthe für Q enthält.

Wenn die ganze Wärmemenge r lediglich zu äusserer Arbeit verwendet würde, so wäre es leicht, nach dem ersten Gesetz das Volumen des gebildeten Dampfes zu bestimmen, denn man hätte

$$r = A p u,$$

und da r, A und p bekannt sind, so würde sich aus dieser Gleichung das Volumen u des Raumes KK', Fig. 744, ergeben, welcher im Cylinder unter dem Kolben frei wird, während 1 Kilogramm Wasser von t^0 in Dampf von t^0 verwandelt wird. So einfach ist aber hier die Sache nicht.

Die Wärmemenge r, welche man der Gewichtseinheit Wasser von t^0 zuführen muss, um dasselbe in gesättigten Dampf von t^0 zu verwandeln, ist zwar durch Regnault's Versuche bekannt, allein diese Wärmemenge zerfällt in zwei Theile; ein Theil, nämlich Apu, dient dazu, die äussere

1.	2.	3.	4.	5.	6.
Temperatur (Cels.)	Absolute Temperatur	Druck auf 1 Quadratmeter in Kilogrammen	Differenz des Drucks für 1⁰ C.	Gesammtwärme nach Regnault	Verdampfungswärme nach Clausius
	$T = \alpha + t$				
t	$\alpha = 273$	p	φ	Q	r
0	273	62,5	—	606,5	607,00
5	278	88,8	6,4	608,02	603,46
10	283	124,6	8,5	609,55	599,92
15	288	172,7	11,2	611,07	596,38
20	293	236,5	14,7	612,60	592,84
25	298	320,2	17,5	614,12	589,30
30	303	428,9	24,8	615,65	585,76
35	308	568,7	31,7	617,17	582,22
40	313	746,5	40,2	618,70	578,68
45	318	970,6	50,4	620,22	575,14
50	323	1250,5	62,6	621,75	571,60
55	328	1597,2	78,2	623,27	568,06
60	333	2032,3	94,4	624,80	564,52
65	338	2541,7	113,7	626,32	560,98
70	343	3169,2	138,1	627,85	557,44
75	348	3922,7	165,2	629,37	553,90
80	353	4821,7	196,3	630,90	550,36
85	358	5887,7	232,2	632,42	546,82
90	363	7144,0	272,9	633,95	543,28
95	368	6816,8	318,9	635,47	539,74
100	373	10333,0	370,7	637,00	536,20
105	378	12323,6	428,8	638,52	532,66
110	383	14621,0	493,5	640,05	529,12
115	388	17259,0	565,4	641,57	525,58
120	393	20275,5	645,1	643,10	522,04
125	398	23709,8	732,8	644,62	518,50
130	403	27603,7	829,1	646,15	514,96
135	408	32001,3	934,5	647,67	511,42
140	413	36949,0	1049,4	649,20	507,88
145	418	42495,0	1174,1	650,72	504,34
150	423	48690,4	1309,3	652,25	500,80
155	428	55588,1	1455,3	653,77	497,26
160	433	63243,4	1612,5	655,30	493,72
165	438	71712,7	1781,1	656,82	490,18
170	443	80054,7	1961,7	658,35	486,64
175	448	91330,2	2154,6	659,87	483,10
180	453	102601,0	2360,0	661,40	479,56
185	458	114930,0	2578,2	662,92	476,02
190	463	128383,0	2809,4	664,45	472,48
195	468	143025,0	3054,0	665,97	468,94
200	473	158923,0		667,50	465,40

7. Volumen, um welches sich 1 Kilogr. Wasser bei seiner Verwandlung in gesättigten Dampf ausdehnt u	8. Volumen von 1 Kilogr. gesättigten Wasserdampfes in Cubikmetern $v=u+1$	9. Dichtigkeit des Dampfes (Gewicht von 1 Liter Dampf in Kilogrammen) γ	10. Wärmemenge, welche bei der Dampfbildung in Wärme verwandelt wird Apu	11. Gesammte im Dampf enthaltene Wärme $J=Q-Apu$	12. Innere latente Dampfwärme $\varrho=r-Apu$
207,364	207,365	0,0000048	30,59	576,24	576,74
148,311	148,312	67	31,14	576,50	571,94
107,786	107,787	93	31,68	577,65	568,02
79,116	79,117	126	32,22	578,77	564,08
58,703	58,704	170	32,74	579,69	559,93
44,027	44,028	0,0000227	33,25	580,90	556,08
33,369	33,370	300	33,76	581,99	552,10
25,541	25,542	391	34,26	583,06	548,11
19,735	19,736	507	34,75	584,11	544,09
15,389	15,390	650	35,23	585,16	540,08
12,105	12,106	0,0000826	35,71	586,22	536,07
9,6031	9,6041	1041	36,18	587,26	532,05
7,6778	7,6788	1302	36,64	588,30	528,02
6,1866	6,1876	1616	37,09	589,34	524,00
5,0219	5,0229	1991	37,54	590,39	519,98
4,1049	4,1059	0,0002435	37,98	591,44	515,97
3,3778	3,3788	2960	38,41	592,50	511,96
2,7971	2,7981	3574	38,84	593,56	507,96
2,3303	2,3313	4289	39,26	594,64	503,97
1,9526	1,9536	5119	39,68	595,74	500,01
1,6449	1,6459	0,0006075	40,09	596,83	496,03
1,3932	1,3942	7172	40,50	597,91	492,05
1,1858	1,1868	8426	40,90	599,03	488,10
1,0143	1,0153	9849	41,29	600,14	484,15
0,8710	0,8720	11468	41,68	601,26	480,20
0,7522	0,7532	0,0013277	42,06	602,39	476,27
0,6519	0,6529	15316	42,45	603,53	472,34
0,5673	0,7583	17596	42,82	604,68	467,43
0,4956	0,4966	20137	43,19	605,84	464,52
0,4346	0,4356	22957	43,56	607,00	460,62
0,3824	0,3834	0,0026082	43,92	608,16	456,71
0,3377	0,3387	29525	44,28	609,35	452,84
0,2992	0,3002	33311	44,63	610,53	448,95
0,2659	0,2669	37467	44,98	611,71	445,07
0,2371	0,2381	42000	45,33	612,92	441,21
0,2120	0,2130	0,0046949	45,67	614,34	437,35
0,1901	0,1911	52328	46,01	615,34	433,50
0,1710	0,1720	58140	46,34	616,54	429,64
0,1541	0,1551	64740	46,68	617,79	425,82
0,1393	0,1403	71276	47,00	619,01	421,98
0,1262	0,1272	0,0078616	47,32	620,26	418,16

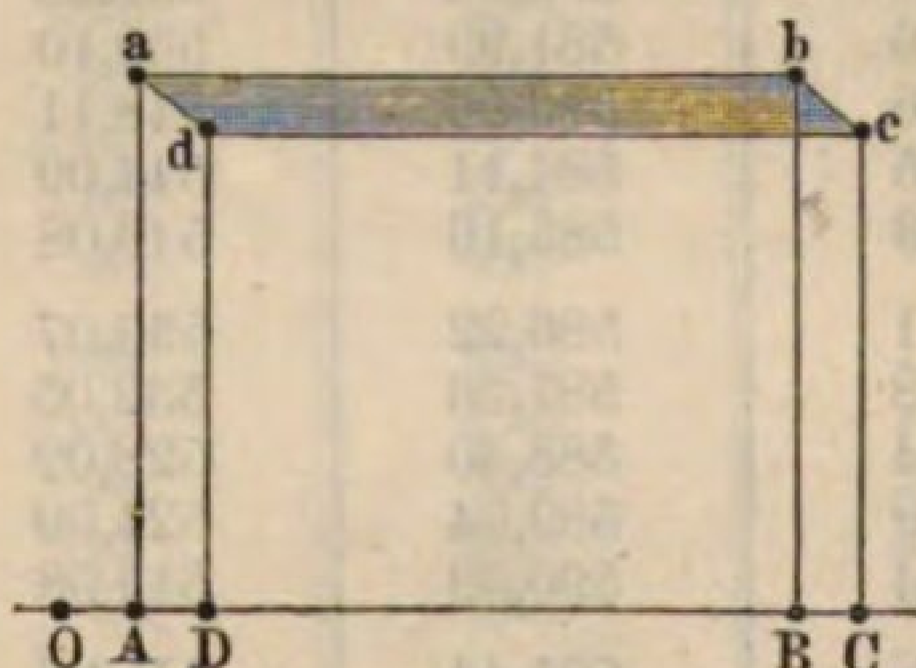
Arbeit pu zu verrichten, der andere Theil ϱ ist es, welcher zur Ueberwindung der Cohäsion der Wassertheilchen, also zur Verrichtung einer inneren Arbeit verwendet wird. Es ist also

$$r = \varrho + Apu.$$

Unmittelbar ist weder ϱ noch Apu noch das Verhältniss dieser beiden Grössen gegeben; um diese Grössen zu bestimmen, müssen wir zunächst auf irgend eine Weise ϱ gleichsam zu eliminiren suchen, d. h. wir müssen mit dem Wasserdampf irgend eine Operation vornehmen, bei welcher eine bestimmte äussere Arbeit verrichtet wird, während die am Ende der Operation geleistete innere Arbeit gleich Null ist. Ein derartiger Process wird mit dem Namen des Kreisprocesses bezeichnet.

Denken wir uns das Volumen w der Gewichtseinheit Wasser von t^0 durch die Abscisse OA, Fig. 745, den Druck p aber, welcher darauf lastet, durch die Ordinate Aa dargestellt. Dem Wasser führe man jetzt

Fig. 745.



Wärme in der Weise zu, dass der sich bildende Dampf die constante Temperatur t behält. In Folge dessen bleibt auch der Druck p constant. — Die Wärmezuführung werde nun so lange fortgesetzt, bis alles Wasser in Dampf verwandelt ist. Das Volumen w ist nun in $OB = v$ übergegangen, es ist also um $AB = u$ gewachsen, und da unterdessen der Druck p ungeändert geblieben ist, so ist die dabei verrichtete und durch das Rechteck $AabB$ dargestellte äussere Arbeit gleich pu. Die während dieser Dampfbildung zugeführte Wärmemenge ist r.

Diesem Dampfe gestattet man nun, ohne dass ihm Wärme zu- oder abgeführt wird, eine weitere kleine Ausdehnung von OB auf OC, bis die Temperatur um 1^0 und die entsprechende Spannung um φ gesunken ist. Die dabei verrichtete Arbeit d ist durch das Viereck $BCcb$ repräsentirt und die entsprechende aus dem Dampf austretende Wärme wollen wir mit q bezeichnen.

Wie gross die Spannungsabnahme φ ist, wenn der Dampf, welcher für irgend eine der in der ersten Columne der Tabelle auf Seite 914 aufgeführten Temperaturen gesättigt ist, um 1^0 erkaltet wird, findet man in der vierten Columne dieser Tabelle. Die unter φ stehenden Zahlen wurden in folgender Weise gefunden:

Zieht man irgend einen der in der dritten Columne enthaltenen Werthe von p von dem folgenden ab, so erfährt man, wie viel die Spannkraft des gesättigten Dampfes bei einer Temperaturerhöhung von 5^0 wächst. Wie viel sie aber bei einer Temperaturerniedrigung von 5^0 abnimmt, erfährt man, wenn man von demselben Werthe von p den vorhergehenden abzieht. Nimmt man nun aus diesen beiden Differen-

zen das Mittel und von diesem Mittel den fünften Theil, so erfährt man (ohne merklichen Fehler), um wie viel sich die Spannkraft des Wasserdampfes bei einer Temperaturerhöhung oder Erniedrigung von 1^0 ändert.

So ist z. B. für 150^0 C. die erste Differenz 6897,7, die zweite Differenz ist 6195,4; das Mittel beider ist 6546,5 und der fünfte Theil davon 1309,3, die Zahl, die unter φ in der Horizontalreihe von 150^0 C. steht.

Der Dampf, welcher jetzt die Temperatur $t - 1$ und die Spannkraft $p' = p - \varphi$ hat, werde nun um das Volumen u (um CD, Fig. 745) zusammengedrückt, während ihm in der Weise fortwährend Wärme entzogen wird, dass die Temperatur stets $t - 1$ und die Spannkraft ungeändert $p - \varphi$ bleibt.

Die während dieser Zusammendrückung frei werdende und dem Dampf zu entziehende Wärmemenge r' besteht aus zwei Theilen, nämlich aus der Wärmemenge $Ap'u$, welche der zum Zusammendrücken aufgewendeten durch das Rechteck $CDdc$ dargestellten Arbeit $p'u$ entspricht, und der Wärmemenge ϱ', welche durch die Condensation einer entsprechenden Menge Wasserdampfes frei wird.

Die Zusammendrückung werde nun endlich noch von OD bis OA fortgesetzt, ohne dass Wärme zu- oder abgeführt wird; dabei steigt die Temperatur auf t^0, der Druck auf p und der Dampf wird vollständig wieder auf seinen ursprünglichen Zustand (Wasser von t^0) zurückgeführt. Bei diesem letzten Theil der Operation wird die durch das Viereck $DdaA$ repräsentirte Arbeit d aufgewendet und dadurch dem Versuchskörper die Wärmemenge q wieder zugeführt, welche er durch die Ausdehnung von OB bis OC verloren hatte.

Nachdem also das Wasser vollständig auf seinen ursprünglichen Zustand zurückgeführt worden ist, wurde während der besprochenen Operationen durch Aufwendung der Wärmemengen r und q die Arbeit $pu + d$ geleistet, und nachher durch Aufwendung der Arbeit $p'u + d$ die Wärmemenge $r' + q$ gewonnen. Die Summe der gewonnenen Arbeit ist also

$$pu + d - p'u - d = \varphi u,$$

eine Arbeit, welche durch das schraffirte Parallelogramm $abcd$, Fig. 745, repräsentirt wird. Die zur Hervorbringung dieser Arbeit verbrauchte Wärme ist aber

$$r + q - r' - q = r - r'.$$

Die zur Leistung der Arbeit φu erforderliche Wärmemenge ist aber auch $A\varphi u$, wir haben aber die Gleichung

$$A\varphi u = r - r'.$$

In dieser Gleichung sind nun die Werthe von A, φ und r bereits bekannt, es fehlt nur noch r', um endlich u bestimmen zu können.

Da eine vollkommen strenge Lösung dieser Aufgabe ohne höhere Rechnung nicht wohl möglich ist, so müssen wir uns hier mit einem elementaren Näherungsverfahren begnügen.

Die Wärmequantitäten Apu und $Ap'u$ stehen offenbar im Verhältniss der Spannkräfte p und p' und diesen können wir, da es sich nur um geringe Temperaturdifferenzen handelt, auch die Dichtigkeit des Wasserdampfes bei t^0 und bei $(t - 1)^0$ proportional setzen. Diesen Dichtigkeiten proportional sind aber auch die Wassermengen, welche bei der Temperatur t während der Ausdehnung um das Volumen u verdampft und bei der Temperatur $(t - 1)^0$ während der Compression um das Volumen u condensirt wurden. Demnach haben wir aber auch

$$\varrho : \varrho' = p : p'$$

und

$$\varrho + Apu : \varrho' + Ap'u = p : p'$$

oder

$$r : r' = p : p'.$$

Da aber innerhalb so enger Temperaturgrenzen der gesättigte Wasserdampf als dem Mariotte-Gay-Lussac'schen Gesetze folgend angenommen werden kann, so ist

$$p : p' = 1 + \alpha t : 1 + \alpha (t - 1)$$

mithin auch

$$r : r' = 1 + \alpha t : 1 + \alpha (t - 1)$$

$$r' = r \frac{1 + \alpha (t - 1)}{1 + \alpha t}$$

$$r - r' = r \left\{ 1 - \frac{1 + \alpha (t - 1)}{1 + \alpha t} \right\}$$

$$r - r' = \frac{r\alpha}{1 + \alpha t}$$

oder wenn man Zähler und Nenner mit α dividirt und $\frac{1}{\alpha} = a$ setzt,

$$r - r' = \frac{r}{a + t} = \frac{r}{T},$$

wenn T die absolute Temperatur*) bezeichnet, welcher t^0 C. entspricht. Wir haben also

*) Nennen wir p die Spannkraft einer abgesperrten Luftmasse bei 0^0, so ist ihre Spannkraft nach dem Mariotte-Gay-Lussac'schen Gesetze bei t^0 C. gleich $p\,(1 + 0{,}00365\,t)$; die Spannkraft der abgesperrten Luftmasse wird also gleich Null, wenn $1 + 0{,}00365\,t = 0$ d. h., wenn $t = -273^0$ C. ist. Bei dieser Temperatur, welche 273^0 unter dem Gefrierpunkt des Wassers liegt, verlieren also die Gase ihre Expansionskraft und diese Temperatur ist es, welche man als den absoluten Nullpunkt bezeichnet. Die von diesem Nullpunkte an nach Celsius'schen Graden gezählte Temperatur, $T = 273 + t$ (wenn t die vom Gefrierpunkt des Wassers an gezählte Temperatur ist) ist es, welche man als absolute Temperatur bezeichnet. In der zweiten Verticalreihe der Tabelle auf Seite 914 sind die absoluten Temperaturen angegeben, welche den nach dem Celsius'schen Thermometer gemessenen Temperaturen der ersten Columne entsprechen.

$$A\varphi u = \frac{r}{T}$$

und

$$u = \frac{r}{AT\varphi}$$

oder

$$u = \frac{424 . r}{T . \varphi} \quad \text{. II)}$$

wenn man für $\frac{1}{A}$ seinen Zahlenwerth 424 setzt. Nach dieser Gleichung, welche als die zweite Hauptgleichung der mechanischen Wärmetheorie bezeichnet wird, lässt sich also für jede beliebige Temperatur der zugehörige Werth von u berechnen, da r, T und φ bekannte Grössen sind. So ergiebt sich z. B. für $t = 120^0$

$$u = \frac{424 . 522{,}04}{393 . 645{,}1} = 0{,}8731$$

und für $t = 150^0$

$$u = \frac{424 . 500{,}8}{423 . 1309{,}3} = 0{,}3834.$$

Unsere Tabelle auf S. 914 u. 915 enthält in der siebenten Columne den Werth von u für die in der ersten Verticalreihe angegebenen Temperaturen.

Zu diesen Werthen von u hat man nur noch 0,001 (das in Cubikmetern ausgedrückte Volumen von 1 Kilogramm Wasser) zu addiren, um das Volumen v zu erhalten, welches 1 Kilogramm gesättigten Wasserdampfes von der entsprechenden Temperatur einnimmt. Die Zahlenwerthe von v sind in der achten Columne unserer Tabelle aufgeführt. Wir ersehen z. B. aus derselben, dass 1 Kilogramm gesättigten Wasserdampfes von 100^0, von 130^0, von 160^0 u. s. w. das Volumen von 1,6459, von 0,6529, von 0,3002 u. s. w. Cubikmetern einnimmt.

Wenn die gesättigten Wasserdämpfe dem Mariotte-Gay-Lussac'schen Gesetze folgten, so müsste das Product

$$\frac{pv}{1 + \alpha t}$$

eine constante Grösse sein.

Nun aber ist dieses Product

46376 für $t = 100^0$
37832 „ $t = 130^0$
32374 „ $t = 160^0$;

für wachsende Temperaturen wird es also immer kleiner. Aus der Anwendung der mechanischen Wärmetheorie auf gesättigte Wasserdämpfe ergiebt sich also, wie Clausius zuerst dargethan hat, dass dieselben dem Mariotte-Gay-Lussac'schen Gesetze nicht folgen, dass vielmehr die Spannkraft des gesättigten Wasserdampfes

bei wachsender Temperatur weniger rasch zunimmt als die Dichtigkeit desselben.

Da der Quotient $\frac{1}{v}$ das Gewicht von 1 Cubikmeter gesättigten Dampfes angiebt, so ist $\frac{1}{1000\,v}$ das Gewicht von 1 Cubikdecimeter, also auch das specifische Gewicht oder die Dichtigkeit desselben. Die Zahlenwerthe der Dichtigkeit des gesättigten Wasserdampfes sind unter γ in der neunten Columne unserer Tabelle angegeben.

Wenn man die Volumvergrösserung u, welche bei der Verwandlung von 1 Kilogramm Wasser von t^0 in gesättigten Dampf von t^0 erfolgt, mit dem entsprechenden Druck p multiplicirt, so erhält man die äussere Arbeit, welche bei dieser Operation geleistet wurde; die zur Leistung dieser Arbeit consumirte Wärmemenge ist aber

$$Apu.$$

Die Zahlenwerthe von Apu, welche in der zehnten Columne unserer Tabelle stehen, sind übrigens nicht auf die eben besprochene Weise, sondern nach der von Zeuner aufgestellten empirischen Gleichung

$$Apu = 30{,}456\,.\,logn.\,\frac{T}{100}$$

berechnet, deren Resultate mit den nach der obigen Theorie berechneten so nahe zusammentreffen, dass man wohl diese Gleichung als den wahren Ausdruck der Beziehungen zwischen p, u und t annehmen kann. Auch die in der siebenten Columne angeführten Werthe von u sind nicht die auf dem oben angegebenen Wege berechneten, sondern die sehr nahe gleichen, welche durch Division der in Columne 10 angeführten Werthe von Apu durch die entsprechenden Werthe von Ap erhalten werden.

Betrachten wir noch einmal kurz die Bedeutung der in der Tabelle auf S. 914 und S. 915 aufgeführten Grössen.

Q ist, wie bereits angeführt wurde, die gesammte Wärmenge, welche man gebraucht, um 1 Kilogramm Wasser von 0^0 zunächst auf t^0 zu erwärmen und alsdann das Wasser von t^0 unter dem entsprechenden Druck p in gesättigten Dampf von t^0 zu verwandeln.

Ein Theil dieser Wärmemenge Q, nämlich Apu, wird aber zu äusserer Arbeit verwendet, er ist also in dem gesättigten Dampf von t^0 nicht mehr enthalten, die gesammte in dem Dampf noch enthaltene Wärmemenge ist also nur noch (ausser der bereits im Wasser von 0^0 enthaltenen)

$$J = Q - Apu.$$

Die Zahlenwerthe von J sind in der elften Columne unserer Tabelle enthalten.

Um Wasser von t^0 in gesättigten Dampf von t^0 zu verwandeln, ist die Wärmemenge r nöthig, deren Zahlenwerthe in der sechsten Ver-

ticalreihe unserer Tabelle enthalten sind. Diese Grösse r ist es, welche man gewöhnlich als latente Wärme des Dampfes bezeichnet, was übrigens unrichtig ist, wenn man mit diesem Ausdruck die Wärmemenge bezeichnen will, welche zur Aufhebung der Cohäsion der Wassertheilchen, also zu innerer Arbeit verwendet wird, denn ein Theil der Wärmemenge r, nämlich Apu, wird für äussere Arbeit consumirt. Nur der Rest

$$\varrho = r - Apu$$

kann als innere latente Dampfwärme bezeichnet werden, während man die Grösse r nach Clausius als Verdampfungswärme bezeichnen kann.

Es ist klar, dass man bei einer richtigen Berechnung des Effects der Dampfmaschinen die Werthe von v in Rechnung bringen muss, wie sie in unserer Tabelle aufgeführt sind, und nicht die nach dem Mariotte-Gay-Lussac'schen Gesetze berechneten, wie sie in der Tabelle auf S. 716 aufgeführt sind. Bei der Vergleichung der Werthe von V auf Seite 716 und v auf Seite 915 ist übrigens noch zu bemerken, dass in der Tabelle auf S. 716 das Volumen von 1 Gramm Wasserdampf in Cubikcentimetern ausgedrückt ist, während die Tabelle auf S. 915 das Volumen von 1 Kilogramm Wasserdampf in Cubikmetern angiebt.

Aus der Betrachtung der Zahlen, welche in der Tabelle auf S. 914 u. 915 zusammengestellt sind, ersehen wir übrigens, dass von der Wärmemenge, welche man dem Wasser im Kessel zuführt, nur ein sehr geringer Theil zu mechanischer Arbeit verbraucht wird, denn die zu mechanischer Arbeit verbrauchte Wärmemenge Apu ist nur ein kleiner Bruchtheil selbst der Verdampfungswärme r und zwar ungefähr $^1/_{13}$ für 100, $^1/_{11}$ für 160°. Die innere latente Dampfwärme ϱ verbleibt dem Dampf bei seinem Austritt aus der Maschine, sie kann also keinerlei Arbeit leisten. Nur theilweise kann diese Wärmemenge ϱ wieder gewonnen werden.

Dieser Umstand gab Veranlassung, Kraftmaschinen zu construiren, in welchen die Spannkraft der erhitzten Luft anstatt der Wasserdämpfe fungiren sollte. Solche namentlich nach Ericson's Angaben gebaute unter dem Namen der calorischen bekannte Maschinen, sind mit grossen Erwartungen begrüsst vielfach in die Praxis eingeführt, alsbald aber auch wieder verlassen worden, weil ihre Leistungen weit gegen die der Dampfmaschinen zurückblieben.

Verhalten des gesättigten Wasserdampfes bei der 296
Expansion. Die bis jetzt erhaltenen Resultate setzen uns nun auch in den Stand, uns eine richtige Vorstellung über das Verhalten der Wasserdämpfe in unseren Expansions-Dampfmaschinen zu bilden. Da wir aber die zur allgemeinen Lösung dieser Frage nöthigen Gleichungen hier nicht entwickeln können, so müssen wir uns mit der Betrachtung specieller Fälle begnügen.

Unter dem Kolben eines Dampfcylinders befinde sich gerade 1 Kilogramm gesättigten Wasserdampfes von 160° C., so ist nach unserer Tabelle für diesen Dampf

$$v = 0,3002 \text{ Cubikmeter}$$
$$p = 63243,4 \text{ Kilogramm}$$
$$J = 610,53 \text{ Wärmeeinheiten.}$$

Dieser Dampf soll sich nun langsam ausdehnen und zwar soll der vom Dampfe am Kolben zu überwindende Druck in jedem Momente der entsprechenden Dampfspannung gleich sein. Während dieser Ausdehnung sinkt Temperatur und Spannkraft des Dampfes.

Der Dampf soll sich nun ausdehnen, bis seine Temperatur um 5°, in unserm Falle also von 160° auf 155° gefallen ist. Untersuchen wir nun, wie viel Wärme dem sich expandirenden Dampfe zugeführt werden muss, wenn während der fraglichen Expansion keine Condensation stattfindet, die Dampfmenge also völlig ungeändert bleiben soll. Nach unserer Tabelle ist für 155°

$$v' = 0,3387 \text{ Cubikmeter}$$
$$p' = 55588,1 \text{ Kilogramm}$$
$$J' = 609,35 \text{ Wärmeeinheiten.}$$

Das Volumen des Dampfes hat also zugenommen um

$$V = v' - v = 0,0385 \text{ Cubikmeter.}$$

Die Arbeit, welche während dieser Expansion geleistet wird, können wir wenigstens annähernd

$$L = V . \frac{p + p'}{2}$$

in unserem speciellen Falle also

$$L = 0,0385 . 59415,7 = 2287,5 \text{ Meterkilogramm}$$

setzen; die zu dieser Arbeit erforderliche Wärmemenge aber ist

$$AL = \frac{L}{424} = \frac{2287,5}{424} = 5,39 \text{ Wärmeeinheiten.}$$

Beim Beginn der Expansion war die gesammte im Dampf enthaltene Wärme $J = 610,53$; am Ende der Expansion war sie noch $J' = 609,35$. Während der Expansion sind also

$$J - J' = 1,18 \text{ Wärmeeinheiten}$$

aus dem Dampfe ausgetreten. Diese Wärmemenge genügt aber nicht, um die Arbeit von 2287,5 Meterkilogrammen auszuführen, es müssten also noch

$$5,39 - 1,18 = 4,21 \text{ Wärmeeinheiten}$$

von aussen zugeführt werden, wenn sich der Dampf in der oben angedeuteten Weise expandiren sollte, ohne dass die Dampfmenge abnimmt.

Wiederholen wir dieselbe Schlussweise für die Anfangstemperatur 120° (statt 160° des eben betrachteten Falles), so ergiebt sich

$$V = v' - v = 0{,}1433$$

$$\frac{p + p'}{2} = 18767{,}2$$

$$L = 2689{,}3$$

$$AL = 6{,}34 \text{ Wärmeeinheiten}$$

$$J - J' = 1{,}12 \text{ Wärmeeinheiten.}$$

In dem letzteren Fall bedarf es also einer Wärmezuführung von

$$6{,}34 - 1{,}12 = 5{,}22 \text{ Wärmeeinheiten.}$$

Wenn die eben berechneten Zahlenwerthe auch keinen Anspruch auf Genauigkeit machen, so genügen sie doch, um darzuthun, dass eine namhafte Wärmezuführung nöthig ist, wenn der Dampf sich in der angegebenen Weise expandiren soll, ohne dass eine theilweise Condensation stattfindet.

Da nun aber bei unseren Expansions-Dampfmaschinen nach Absperrung des Dampfzuflusses keine weitere Zuführung von Wärme erfolgt, so ist klar, dass in Folge der Expansion eine theilweise Condensation von Wasserdampf erfolgen muss. Der letzte Theil des von Pambour ausgesprochenen Satzes:

„Der Dampf bleibe, während er sich ohne Wärmezuführung ausdehnt, gesättigt und es schlage sich dabei kein Dampf nieder"

ist also unzulässig, vielmehr ist dieser Satz dahin abzuändern:

„Während sich der Dampf ohne Wärmezuführung ausdehnt, bleibt er zwar gesättigt, es wird dabei aber eine entsprechende Menge Dampf niedergeschlagen."

Am Ende der Expansion ist also die Dampfmenge geringer als im Anfang derselben.

Durch die Condensation von Wasserdampf muss die Wärme geliefert werden, welche zur Leistung der Expansionsarbeit noch fehlt.

Diese wichtige Entdeckung über das Verhalten des Dampfes während der Expansion wurde fast gleichzeitig von Clausius und Rankine gemacht. Es ist klar, dass die Theorie der Dampfmaschinen durch dieselbe eine wesentliche Umgestaltung erleiden muss.

Dass die Expansion des Dampfes von einer partiellen Condensation begleitet ist, lässt sich auch experimentell nachweisen. In einen Glasballon, Fig. 746 (a. f. S), welcher mit Draht umflochten und mit einer Messingfassung versehen ist, die einen durch einen Hahn absperrbaren Canal enthält, bringe man etwas Wasser, so dass die Glaswand innen durch einige Wassertropfen befeuchtet wird. Alsdann wird der Ballon auf eine Compressionspumpe aufgeschraubt und so viel Luft eingepumpt, dass die Spannkraft im Inneren des Ballons ungefähr 3 Atmosphären beträgt. Wird nun der Hahn geschlossen und der abgeschraubte Ballon an einen warmen Ort, etwa in die Nähe des Ofens oder an eine von der Sonne beschienene Stelle gelegt, so werden die Wasserdämpfe im Inneren nach

einiger Zeit die der Temperatur entsprechende Spannkraft erlangt haben und dabei vollkommen durchsichtig erscheinen. Oeffnet man nun den Hahn, so wird Luft und Wasserdampf rasch dem Ballon entströmen, und ein dichter Nebel den Ballon erfüllen.

Fig. 746.



In etwas veränderter Form lässt sich der Versuch auch so anstellen: Nachdem man die Wände einer Luftpumpenglocke innen mit etwas Wasser bespritzt hat, setze man sie auf den Teller der Luftpumpe und lasse sie einige Zeit in einem etwas warmen Zimmer stehen. Sobald man nun zu evacuiren beginnt, bilden sich weisse Nebel in der Glocke.

Hirn hat einen entsprechenden Versuch in grossem Maassstabe angestellt: ein gerader kupferner Cylinder von 2 Meter Länge und 15 Centimeter Durchmesser war an beiden Enden durch ebene Platten geschlossen, die in der Mitte mit einer 2 Centimeter weiten, durch eine eingekittete Glasplatte geschlossene Oeffnung versehen waren. Dieser kupferne Cylinder wurde nun einerseits mit einem Dampfkessel in Verbindung gesetzt, während er andererseits ein Ausströmungsrohr trägt, welches mit einem weiten Hahn versehen ist. In diesen kupfernen Cylinder liess Hirn Dampf von hoher Spannung eintreten, während der Ausströmungshahn nur wenig geöffnet war, damit alle Luft ausströmen konnte. Der hochgespannte (z. B. 5 Atmosphären) Dampf, welcher auf diese Weise den Cylinder füllt, ist nun vollkommen durchsichtig, so dass man durch die erwähnten Glasplatten hindurch alle Gegenstände deutlich sieht. Wenn man aber nun den Dampfzufluss vom Kessel her vollständig absperrt, den Ausströmungshahn aber rasch vollständig öffnet, so dass sich der Dampf rasch bis auf 1 Atmosphäre Spannkraft expandirt, so bilden sich im Cylinder so dichte Nebel, dass sein Inhalt vollkommen undurchsichtig erscheint.

297 **Das Schmelzen des Eises.** Nachdem wir die Principien der mechanischen Wärmetheorie auf die Dampfbildung angewendet haben, wollen wir sie nun in gleicher Weise auch auf die Erscheinungen des Schmelzens anwenden und zwar zunächst nur die Schmelzung des Eises betrachten.

Denken wir uns in einem Gefäss gerade 1 Kilogrm. Eis von 0° C. unter dem Druck von 1 Atmosphäre. Wird diesem Eis, während der Druck ungeändert bleibt, Wärme zugeführt, so geht es nach und

nach in Wasser über; die Temperatur bleibt aber so lange 0^0, bis alles Eis in Wasser verwandelt ist. Erst von diesem Moment an beginnt die Temperaturerhöhung, wenn die Wärmezufuhr fortgesetzt wird.

Die Wärmemenge, welche dazu nöthig ist, um unter dem Druck von 1 Atmosphäre 1 Kilogramm Eis von 0^0 in Wasser von 0^0 zu verwandeln, ist (Mittel aus den besten Versuchen)

$$r = 79{,}035 \text{ Wärmeeinheiten.}$$

Diese Grösse nennt man gewöhnlich, wie bei dem Dampfe, die „latente Wärme“.

Die Erscheinung des Schmelzens ist der des Verdampfens ganz analog. Ein Theil der dem Eise zugeführten Wärme wird zur Ueberwindung der Cohäsion, der andere Theil wird zu äusserer Arbeit verbraucht, da ja während des Schmelzens eine Volumenveränderung stattfindet.

Wie bei der Dampfbildung, wenn dieselbe unter den in §. 295 angegebenen Bedingungen stattfindet, die Temperatur, bei welcher der Uebergang in Dampfform stattfindet, eine Function des auf dem Kolben lastenden Druckes ist, so lässt sich erwarten, dass auch die Schmelzungstemperatur des Eises von dem Drucke abhängt, unter welchem es steht, dass also die Schmelzungstemperatur mit dem Drucke variirt.

Durch die Analogie zwischen Verdampfung und Schmelzung ist man berechtigt, die in §. 295 entwickelten Gleichungen, also auch die zweite Hauptgleichung der mechanichen Wärmetheorie

$$u = \frac{r}{A \,.\, T \,.\, \varphi}$$

auf das Phänomen des Schmelzens anzuwenden. Während nun aber bei der Dampfbildung die Grösse φ durch die Versuche gegeben war, ist sie hier gänzlich unbekannt; dagegen kennt man die Grösse r, A, T und u, man hat also

$$\varphi = \frac{r}{A \,.\, T \,.\, u} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \text{III)}$$

Wie wir bereits oben gesehen haben ist

$$r = 79{,}035.$$

Die absolute Temperatur, bei welcher unter dem Druck der Atmosphäre die Schmelzung des Eises stattfindet, ist

$$T = 273^0.$$

Ferner ist, wie wir wissen,

$$A = \frac{1}{424}.$$

Zur Berechnung von φ fehlt uns also nur noch der Zahlenwerth von u. Bei der Schmelzung des Eises findet bekanntlich eine Volumenverminderung statt. Das Volumen von 1 Kilogramm Wasser bei 0^0 ist

$$v = 0{,}001 \text{ Cubikmeter.}$$

Das Volumen von 1 Kilogramm Eis von 0^0 ist (als Mittelzahl verschiedener Zahlenangaben, vergl. §. 210, S. 658)

$$w = 0{,}00109$$

mithin

$$u = v - w = -0{,}00009,$$

also **negativ**. Setzen wir nun die angeführten Zahlenwerthe für r, A, T und u in Gleichung III), so kommt

$$\varphi = -\frac{79{,}035 \,.\, 424}{273 \,.\, 0{,}00009}.$$

Soll die Druckdifferenz φ, welche einer Temperaturerniedrigung von 1^0 entspricht, nicht in Kilogrammen, sondern in Atmosphären ausgedrückt sein, so hat man noch mit 10333 zu dividiren und erhält alsdann

$$\varphi = -\frac{79{,}035 \,.\, 424}{10333 \,.\, 0{,}00009 \,.\, 273} = 132 \text{ Atmosphären},$$

d. h. einer Vermehrung des Druckes von 1 auf 132 Atmosphären würde also eine Erniedrigung des Schmelzpunktes um 1^0 C. entsprechen, eine Vermehrung des Druckes um 1 Atmosphäre wird also eine Erniedrigung der Schmelztemperatur des Eises um $^1/_{132}$, also um

$$0{,}0075^0 \text{C.}$$

zur Folge haben.

Dass die Schmelzungstemperatur des Eises mit dem Drucke variirt und zwar so, dass einer Erhöhung des Druckes eine Erniedrigung des Gefrierpunktes entspricht, wurde zuerst von James Thomson (Proceedings of the royal Society of Edinburgh) und dann von Clausius (Pogg. Annal. LXXXI) theoretisch nachgewiesen und von William Thomson (Pogg. Annal. LXXXI) durch Versuche vollkommen bestätigt. Letzterer bediente sich zu diesem Versuche eines Thermometers, in welchem Aether statt des Quecksilbers als thermometrische Flüssigkeit angewendet war. Das Gefäss dieses Thermometers war $3^1/_2$ Zoll lang und $^3/_8$ Zoll weit. Auf dem $6^1/_2$ Zoll langen Rohr war ein Stück von $5^1/_2$ Zoll Länge in 220 gleiche Theile getheilt. Der Umfang dieser Scala entsprach ungefähr einer Temperaturdifferenz von 3^0 F., so dass ein Scalentheil im Durchschnitt $^1/_{71}$ Grad Fahrenheit repräsentirt. Dieses Thermometer war so regulirt, dass es Temperaturen zwischen 31 und 34^0 F. angab. Damit das Gefäss nicht durch einen starken Druck comprimirt werde, war es seiner ganzen Länge nach in eine weitere Glasröhre hermetisch eingeschmolzen; dieses äussere Rohr enthielt so viel Quecksilber, dass das Gefäss des Aetherthermometers ganz davon umgeben war.

Dieses Thermometer wurde nun sammt einer cylindrischen mit Luft gefüllten Röhre, welche als Manometer diente, in einen Oersted'schen Compressionsapparat (ähnlich dem in Fig. 168 des ersten Bandes abgebildeten) eingesenkt, welcher theils mit Wasser, theils mit klaren Eisstücken gefüllt war. Durch einen Bleiring war dafür gesorgt, das Was-

ser des Compressionsgefässes an demjenigen Theil des Thermometers, an welchem die Ablesungen zu machen waren, von Eis frei zu halten.

Ein Druck von 8,1 und ein solcher von 16,8 Atmosphären bewirkte ein Senken des Thermometers um $7^1/_2$ und $16^1/_2$ Abtheilungen, also um $\frac{7,5}{71} = 0,106^0$ F. und $\frac{16,5}{71} = 0,232$ Grad Fahrenheit, was nach der theoretisch berechneten Senkung von $0,109^0$ F. und $0,227^0$ F. sehr nahe übereinstimmt.

Nach den obigen Entwickelungen und Beobachtungen lässt sich nun erwarten, dass das Wasser unter sehr hohem Druck noch bei verhältnissmässig niedrigen Temperaturen flüssig bleiben muss. Dass dies in der That der Fall ist, dafür sprechen die Versuche, welche William in Quebeck schon vor längerer Zeit anstellte, um die Kraft zu messen, mit welcher sich das gefrierende Wasser ausdehnt. Er setzte dicke eiserne Bomben, die mittelst eines eingeschlagenen Eisenstempels verschlossen waren, der Kälte aus. Erst bei einer sehr tiefen Temperatur wurde entweder der Stöpsel gewaltsam hinausgetrieben und dann drang ein Eiszapfen aus der Oeffnung hervor, Fig. 747 oder die Bombe wurde gesprengt und dann quoll eine Eisscheibe aus dem Spalte hervor, Fig. 748. Die Form dieser herausgewachsenen Eispartien spricht nun entschieden dafür, dass das Wasser bei sehr tiefer Temperatur noch flüssig blieb und erst in dem Augenblick zu Eis geworden ist, in welchem es Raum gewann.

Fig. 747.

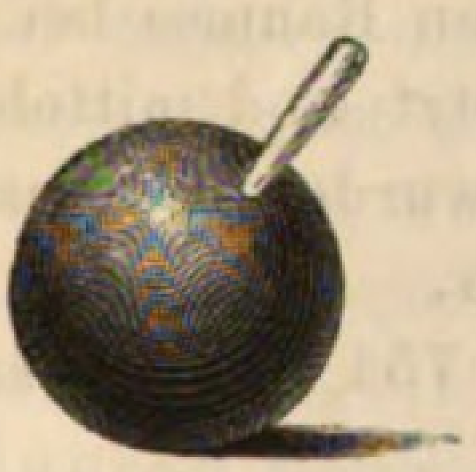


Fig. 748.



Fig. 749.

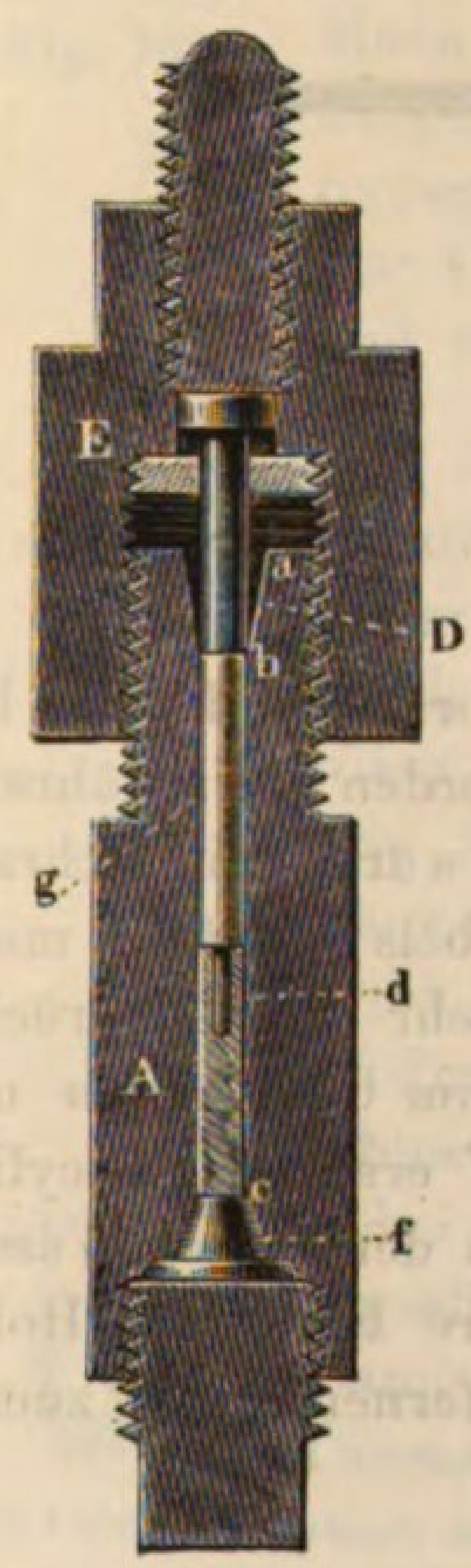
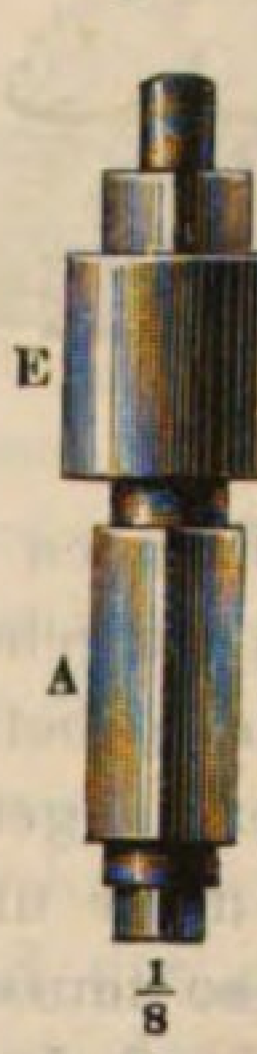


Fig. 750.



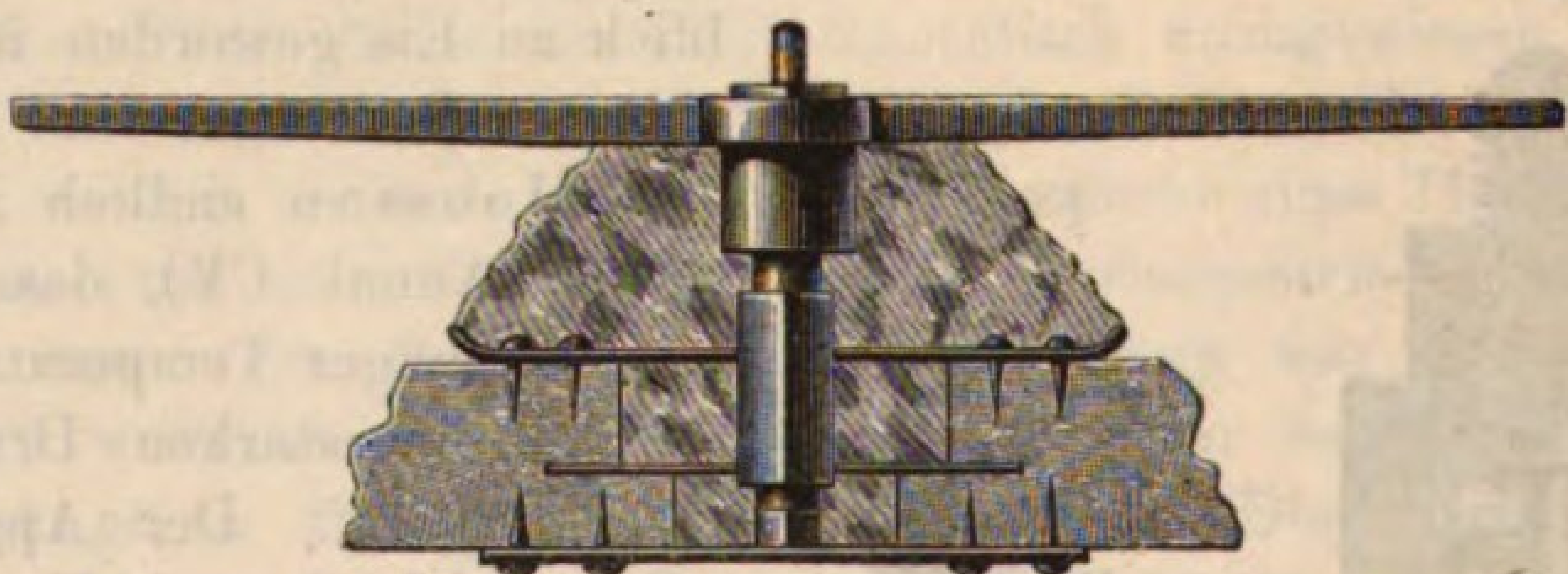
Mousson endlich hat gezeigt (Pogg. Annal. CV), dass man bei sehr niedriger Temperatur das Eis durch sehr starken Druck flüssig machen kann. Der Apparat, dessen er sich dazu bediente, ist in Fig. 749 im Durchschnitt, in Fig. 750 in kleinerem Maassstab in äusserer Ansicht dargestellt. Durch die Axe eines massiven, unten vierkantigen, oben mit einem Schraubengewinde versehenen Prismas A des besten Stahls ist eine cylindrische Höhlung von $7{,}12^{mm}$ Weite gebohrt, welche sich oben von b bis a schwach konisch erweitert, so dass die Mündung bei a $8{,}61^{mm}$ Durchmesser hat. Von oben her ist nun ein ur-

sprünglich etwas konisches und in die Höhlung *ba* passendes Stück reinen Kupfers *g* in die cylindrische Höhlung hineingetrieben, so dass es nach oben hin einen vollkommenen Verschluss der Höhlung bildet. Auf den Kupfercylinder *g* ist ein Stahlstempel *D* von gleichem Durchmesser mit der Höhlung *bc* aufgesetzt, welcher durch Anziehen der Schraubenmutter *E* hinabgedrückt werden kann, so dass er den Kupfercylinder *g* weiter in die Höhlung *bc* hinabtreibt. Unten setzt sich an die cylindrische Höhlung *bc* gleichfalls eine konische, aber sich rascher erweiternde Höhlung an, in welche der Kupferkonus *f* passt, der mittelst der Stahlschraube *C* fest in seiner Höhlung eingedrückt werden kann.

Um den Versuch anzustellen, wird zunächst die Schraube *C* und der Kupferkonus *f* entfernt, der ganze Apparat wird umgekehrt, so dass *E* unten, *A* oben ist, und der über *g* noch freie Theil der Höhlung *bc* mit ausgekochtem Wasser gefüllt, in welches man dann den kupfernen Index *d* hinabfallen lässt. Bei unveränderter Stellung, während also *d* auf *g* aufsteht, wird nun der ganze Apparat einer niedrigen Temperatur ausgesetzt, das Wasser gefriert und fixirt dadurch gleichsam den Kupferindex an der Stelle, welche er eben einnimmt. Es wurde nun die durch das Gefrieren des Wassers im Grunde des konischen Raumes bei *c* entstandene Eiswarze entfernt, der Kupferkegel *f* eingesetzt und mittelst der Schlussschraube *C* möglichst fest eingetrieben. Nun wurde der ganze Apparat wieder umgekehrt, so dass *E* oben, *C* unten war.

Nachdem er in dieser Stellung in der durch Fig. 751 erläuterten

Fig. 751.



Weise in einem starken, zwischen zwei Bäumen angebrachtem Balken befestigt und ringsum mit Kältemischung umgeben worden war, während sich also der Index *d* im Eise dicht unter *g* befand, wurde die Schraubenmutter *E* mittelst eines 6 Decimeter langen Hebels allmälig mehr und mehr angezogen und dadurch *g* mehr und mehr hinabgedrückt. Blieb das Eis bei der Compression fest, so musste beim Oeffnen der unten liegenden Schraube *C* nach dem Kupferkegel *f* erst ein Eiscylinder und dann der Index *d* erscheinen; war aber durch den Druck Wasser entstanden, so musste sich der Index *d* an das untere Ende des Hohlraumes nach *c* begeben, er musste also nach dem Entfernen von *f* zuerst und dann erst der massive Eiscylinder erscheinen. —

Um eine Erwärmung des Apparates durch mechanische Arbeit zu verhindern, wurde das Niederdrücken von *g* nur sehr langsam ausgeführt, es wurde nämlich die Schraubenmutter *E* von 5 zu 5 Minuten jedesmal nur um 45^0 gedreht und damit ungefähr 4 Stunden lang fortgefahren.

Als man nach diesem Verfahren die untere Schlussschraube (immer bei voller Kälte) öffnete, trat sofort der Kupferkonus *f* etwas heraus und an seiner Seite bildete sich augenblicklich Eis. Gleich hinter dem Konus *f* folgte der Index *d* und erst nach diesem ein dichter Eiscylinder, der sich im Augenblick des Oeffnens gebildet haben musste.

Dadurch war der Beweis geliefert, dass Eis durch hinlänglich starken Druck bei ungefähr — 18^0 C. in Wasser verwandelt wird. Den Druck, welchem das Eis bei diesem Versuch ausgesetzt war, schätzt Mousson auf ungefähr 13000 Atmosphären.

Die Erniedrigung des Schmelzpunktes des Eises durch Druck spielt eine wichtige Rolle bei der Erklärung der Gletscherphänomene, wir werden deshalb in der kosmischen Physik wieder darauf zurückkommen.

Für Wasser wird der Werth von φ in Gleichung III) ein negativer, weil sich das Eis beim Schmelzen zusammenzieht. Für solche Stoffe aber, bei welchen die Schmelzung mit einer Vergrösserung des Volumens begleitet ist, ist φ positiv, für solche Stoffe muss also durch vermehrten Druck der Schmelzpunkt erhöht werden. Die Richtigkeit dieser Consequenz hat Bunsen (Pogg. Annal. LXXXI, 1850) und Hopkins (Dingler's polyt. Journal CXXXIV) experimentell nachgewiesen. Bunsen stellte den Versuch in folgender Weise an. Ein sehr dickwandiges, ungefähr fusslanges Glasrohr von strohhalmdickem Lumen wurde an dem einen Ende zu einer feinen, 15 bis 20 Zoll langen Haarröhre ausgezogen, welche möglichst genau calibrirt wurde. Das untere Ende des Glasrohres wurde gleichfalls zu einer, aber nur 1½ Zoll langen und etwas weiteren Röhre ausgezogen und umgebogen, wie es Fig. 752 anschaulich macht.

Fig. 752.



Durch Aufsaugen wurde nun der ganze Apparat vollständig mit Quecksilber gefüllt und alsdann das längere Haarrohr bei *a* zugeschmolzen. Nach dem Erkalten wurde durch gelindes Erwärmen bei *b* eine kleine Menge Quecksilber ausgetrieben und dafür, indem man wieder abkühlte, eine kleine Menge der zu prüfenden geschmolzenen Substanz eingesaugt. Darauf wurde nun auch bei *b* der Apparat zugeschmolzen, das längere Haarrohr bei *a* wieder geöffnet und der ganze Apparat 1 bis 2 Grad über den Schmelzpunkt der darin enthaltenen Substanz erwärmt, wobei ein Theil des Quecksilbers aus der offenen Spitze bei *a* ausfliesst. Ist endlich nach abermaligem Abkühlen der Stand des Quecksilbers im Capillarrohre bei *c* nebst dem Thermometer- und Barometerstand notirt, so wird die Spitze

bei *a* abermals zugeschmolzen und dadurch eine Luftsäule von bekannter Länge abgesperrt.

Zwei solcher Apparate von ganz gleicher Form und Füllung, deren einer bei *a* zugeschmolzen ist, während der andere offen bleibt, werden nun sammt einem empfindlichen Thermometer dergestalt auf ein kleines Brett befestigt, dass die beiden mit der zu prüfenden Substanz gefüllten Röhrchen dicht neben der Thermometerkugel stehen. Senkt man diese Vorrichtung nur so weit in Wasser, dessen Temperatur einige Grade über dem Schmelzpunkt der Substanz liegt, dass eben nur die Röhrchen *b* untergetaucht sind, so sieht man, dass bei allmäliger Abkühlung des Wassers die Erstarrung gleichzeitig in beiden Röhrchen erfolgt. Wird aber der Apparat tiefer in das warme Wasser eingetaucht, so erfolgt durch Ausdehnung des Quecksilbers im verschlossenen Instrumente ein Druck, welcher an der Zusammenpressung der Luft im Capillarrohr *cb* leicht gemessen und durch Einsenken und Hervorziehen des Instrumentes aus der Erwärmungsflüssigkeit beliebig gesteigert oder vermindert werden kann. Der Druck in dem offenen Instrumente bleibt dagegen während der ganzen Dauer des Versuchs unverändert. Die Temperaturdifferenz, um welche die Substanz im verschlossenen Instrumente eher erstarrt als im offenen, giebt die Schmelzpunktserhöhung für den beobachteten Druck.

Ein mit Wallrath angestellter Versuch gab folgendes Resultat:

Druck	Erstarrungspunkt
1 Atmosphäre	47,7° C.
96 „	49,7°
156 „	50,9°

Derselbe Versuch mit Paraffin wiederholt gab

Druck	Erstarrungspunkt
1 Atmosphäre	46,3° C.
85 „	48,9°
100 „	49,9°

Hopkins erhielt nach einer anderen Methode folgende Resultate:

Druck	Schmelztemperatur von			
	Wallrath	Wachs	Schwefel	Stearin
1 . . .	51° C.	64,5° C.	107,0° C.	72,5° C.
519 . . .	60	74,5	135,2	73,6
792 . . .	80,2	80,2	140,5	79,2

298 **Die specifische Wärme im Sinne der mechanischen Wärmetheorie.** Die Temperatur eines Körpers hängt nach der mechanischen Wärmetheorie lediglich von der lebendigen Kraft ab, mit welcher die Atome sich bewegen, aus welchen er zusammengesetzt ist. Zwei Körper haben gleiche Temperatur, wenn die lebendige Kraft, mit welcher jedes Atom des einen vibrirt, gleich ist der lebendigen Kraft

eines Atoms im anderen. Um die Temperatur zweier Körper um gleich viel zu erhöhen, muss die Schwingungsarbeit der Atome in beiden eine gleiche Vermehrung erfahren.

Danach sollte man auf den ersten Blick wohl erwarten, dass es gleicher Wärmemengen bedürfe, um in zwei Massen verschiedener Stoffe, von denen aber die eine ebenso viel Atome enthält wie die andere, eine gleiche Temperaturerhöhung hervorzubringen, oder mit anderen Worten, man sollte erwarten, dass die Grösse, welche wir in §. 254 als Atomwärme bezeichnet haben, für alle Elemente die gleiche, dass also das Dulong-Petit'sche Gesetz nicht nur annähernd, sondern in voller Strenge richtig sei.

Für chemisch zusammengesetzte Stoffe aber müsste der Quotient, den man erhält, wenn man die Atomwärme der Verbindung dividirt, durch die Anzahl der einfachen Atome, welche zu einem Atom der Verbindung zusammengetreten sind $\left(\text{also der Werth } \frac{PS}{N}\right)$, unter allen Umständen vollkommen der Atomwärme der einfachen Stoffe gleich sein.

Die Erfahrung bestätigt dies aber nicht. Die Zahlen der letzten Columne der Tabelle auf Seite 792 weichen zum Theil bedeutend von 6,4 ab und ebenso ist der Quotient $\frac{PS}{N}$ durchaus nicht für alle Verbindungen gleich, wie wir auf Seite 796 gesehen haben.

Der Widerspruch, in welchen hier die Erfahrung mit der mechanischen Wärmetheorie zu gerathen scheint, schwindet übrigens vollständig, wenn man bedenkt, dass die Wärmemenge, welche man einem Körper zuführen muss, um seine Temperatur zu erhöhen, keineswegs ganz zur Erhöhung der lebendigen Kraft seiner Molekularvibrationen verwendet wird, sondern dass ein namhafter Theil der Wärme, welche wir als specifische Wärme bezeichnen, zur Verrichtung von innerer und äusserer Arbeit consumirt wird.

Bezeichnen wir die specifische Wärme eines einfachen Stoffes mit s, so ist

$$s = k + i + e \quad \dots\dots\dots\dots \quad 1)$$

wenn wir mit k die Vermehrung der Schwingungsarbeit bezeichnen, welche die Gewichtseinheit des fraglichen Stoffes bei einer Temperaturerhöhung um 1^0 erfährt, während i und e das Wärmeäquivalent der gleichzeitig verrichteten inneren und äusseren Arbeit bezeichnen. Bezeichnen wir das Atomgewicht des Stoffes mit p, so muss nach den Principien der mechanischen Wärmetheorie allerdings das Product kp für alle einfachen Stoffe dasselbe sein; daraus folgt aber keineswegs, dass auch sp eine constante Grösse ist, da i und e Grössen sind, welche sich nicht nur von einer Substanz zur anderen, sondern für dieselbe Substanz mit dem Aggregatzustand ändern. Eine absolute Geltung des Dulong-Petit'schen Gesetzes könnte man nur dann erwarten, wenn die beiden Grössen i und e vollkommen Null wären.

Nur in speciellen Fällen können die Grössen i und e klein genug

sein, um vernachlässigt werden zu können. Dieser Umstand aber macht es möglich, den Werth der Grösse k zu ermitteln.

Für feste und flüssige Körper ist die Ausdehnung, welche einer Temperaturerhöhung um 1° entspricht, so gering, dass man die dabei geleistete äussere Arbeit ohne merklichen Fehler vernachlässigen kann, wir haben also für diesen Fall

$$s = k + i \quad \text{. 2)}$$

Andererseits kann man annehmen, dass wenigstens bei den permanenten Gasen die innere Arbeit Null sei, für diese also hat man

$$s = k + e \quad \text{. 3)}$$

wenn mit s die specifische Wärme dieser Gase bei constantem Druck bezeichnet wird. Für den Fall, dass das Gas so eingeschlossen ist, dass es sich bei erfolgter Erwärmung nicht ausdehnen kann, ist auch e gleich Null und wir haben alsdann

$$s' = k \quad \text{. 4)}$$

wenn mit s' die specifische Wärme der Gase bei constantem Volumen bezeichnet wird.

Nach den Versuchen von Regnault ist bei constantem Volumen die specifische Wärme für

Sauerstoffgas	0,1551
Wasserstoffgas	2,4153
Stickgas	0,1712

also die Atomwärme für

Sauerstoffgas	0,1551 . 16 = 2,4816
Wasserstoffgas . . .	2,4153 . 1 = 2,4153
Stickgas	0,1712 . 14 = 2,3968

Wir wollen 2,4 für den angenäherten Werth der Atomwärme der genannten Gase bei constantem Volumen nehmen.

Diesen Werth 2,4 wollen wir nun als absolute Atomwärme bezeichnen. Es würde dies die Atomwärme für alle Elemente (gleichviel ob in flüssigem, festem oder gasförmigem Zustande) sein, wenn alle denselben zugeführte Wärme lediglich der Vermehrung der Schwingungsarbeit zu Gute käme und keinerlei Wärme für innere und äussere Arbeit verbraucht würde.

Die Kenntniss der absoluten Atomwärme 2,4 macht es aber möglich zu ermitteln, welcher Theil der specifischen Wärme s eines Körpers der Temperaturerhöhung zu Gute kommt und welcher Theil derselben durch Leistung von innerer oder äusserer Arbeit latent wird. Für starre Elemente ist die Atomwärme nach Gleichung 2)

$$sp = (k + i)p.$$

Für die absolute Atomwärme kp aller Elemente haben wir den Werth 2,4 gefunden, es ist also

$$(s - i)p = 2{,}4$$

$$s - i = \frac{2{,}4}{p}.$$

Der Quotient $\frac{2{,}4}{p}$, den wir die absolute specifische Wärme oder die absolute Wärmecapacität nennen wollen, ist dieselbe Grösse, welche wir oben mit k bezeichneten, wir finden sie für jedes Element, wenn wir sein Atomgewicht p in 2,4 dividiren.

So erhalten wir z. B. für Kupfer $k = \frac{2{,}4}{63{,}4} = 0{,}0378$. Von der Wärmequantität 0,0949, welche man 1 Gramm Kupfer zuführen muss, um seine Temperatur um 1° zu erhöhen, werden nur 0,0378 Wärmeeinheiten zur Temperaturerhöhung (Vermehrung der Schwingungsarbeit) verwendet, der Rest, 0,0949 — 0,0378 = 0,0571 Wärmeeinheiten werden zu innerer Arbeit consumirt, also latent. — In dem eben für Kupfer besprochenen Sinne sind nun für einige starre Elemente in der folgenden Tabelle die Werthe der specifischen Wärme s, der absoluten specifischen Wärme k und der für innere Arbeit verwendeten Wärme i zusammengestellt.

	s	k	i
Silber	0,0570	0,0222	0,0348
Aluminium	0,2143	0,0875	0,1268
Kupfer	0,0949	0,0378	0,0571
Eisen	0,1138	0,0430	0,0708
Lithium	0,9408	0,3428	0,5940
Natrium	0,2934	0,1043	0,1891
Blei	0,0314	0,0126	0,0188
Schwefel	0,1776	0,0756	0,1020
Zink	0,0956	0,0372	0,0583

Suchen wir auf diese Weise den Werth von k für Kohlenstoff zu ermitteln, so erhalten wir, das Atomgewicht 12 zu Grunde legend, $k = 0{,}2$, ein Werth, welcher grösser ist als der für Graphit und für Diamant gefundene Werth von s (siehe S. 792). Dieser Umstand spricht entschieden dafür, dass nach Regnault's Vorgang das Atomgewicht des Kohlenstoffs zu verdoppeln, also gleich 24 zu nehmen sei; dann haben wir für die

verschiedenen Aggregatformen des Kohlenstoffs die in folgender kleinen Tabelle zusammengestellten Werthe von s, k und i:

	s	k	i
Holzkohle	0,241	0,1	0,142
Graphit	0,174	0,1	0,074
Diamant	0,147	0,1	0,047

Die Ungleichheit der specifischen Wärme der verschiedenen Aggregatformen des Kohlenstoffs erklärt sich also daraus, dass bei gleicher Temperaturerhöhung die geleistete innere Arbeit verschieden ist, je nachdem man mit Diamant, Graphit oder Holzkohle zu thun hat.

In voller Strenge gilt also das Dulong-Petit'sche Gesetz überhaupt nur für die absolute specifische Wärme k, welche mit dem Atomgewicht des Elementes multiplicirt das constante Product

$$kp = 2,4$$

giebt. Die Aenderungen, welche die specifische Wärme starrer Elemente erleidet, wenn die Temperatur wächst, sind gleichfalls auf eine Veränderung der inneren Arbeit zurückzuführen.

Auf chemisch zusammengesetzte Stoffe übergehend, haben wir zur Ermittelung ihrer absoluten Wärmecapacität K die Gleichung

$$\frac{PK}{N} = 2,4 \quad \text{. 5)}$$

welche sich aus Gleichung 3) S. 795 ergiebt, wenn man K an die Stelle der experimentell ermittelten specifischen Wärme S, die absolute specifische Wärme der Elemente 2,4 aber an die Stelle von a setzt. Aus Gleichung 5) ergiebt sich

$$K = 2,4\,\frac{N}{P}.$$

Für Wasser z. B. haben wir $N = 3$, $P = 16 + 2 = 18$, also

$$K = 2,4\,\frac{3}{18} = 0,4,$$

die absolute specifische Wärme des Wassers in festem, flüssigem und gasförmigem Zustande ist also gleich 0,4. Danach ergiebt sich für die Wärmemenge i, welche bei einer Temperaturerhöhung von 1° C. zu innerer Arbeit verwendet wird,

für Eis $i = 0,5 - 0,4 = 0,1$

für flüssiges Wasser $i = 1,0 - 0,4 = 0,6$.

Die thermische Molekularbewegung. Aus der Aequivalenz 299
zwischen Wärme und Arbeit geht unzweifelhaft hervor, dass jede Wärmeentwickelung durch mechanische Mittel als Umsetzung einer Massenbewegung in eine Molekularbewegung und umgekehrt jede Arbeitsleistung durch Wärme als eine Umsetzung der Molekularbewegung in Massenbewegung aufgefasst werden muss. Diese Anschauung bildet den Ausgangspunkt der mechanischen Wärmetheorie, deren wesentlichste Grundsätze nebst einigen der wichtigsten aus ihnen sich ergebenden Consequenzen in den vorhergehenden Paragraphen besprochen wurden, ohne dass die Rede davon gewesen wäre, wie man sich die Molekularbewegung vorzustellen habe, deren Resultat die verschiedenen Wärmephänomene sind.

Die Vollendung der mechanischen Wärmetheorie bedarf allerdings einer Hypothese über die Art dieser Molekularbewegung, wenngleich viele wichtige Fragen auch ohne eine solche gelöst werden können und gelöst worden sind.

Die Aufstellung einer derartigen Hypothese ist von verschiedenen Physikern versucht worden, namentlich von Clausius, Krönig und Redtenbacher.

Krönig und Clausius (Pogg. Annal. XCIX. und C.) nehmen an, dass die im Verhältniss zu den Zwischenräumen verschwindend kleinen Moleküle der Gase und Dämpfe sich in gerader Linie mit constanter Geschwindigkeit fortbewegen, bis sie gegen andere Gasmoleküle oder gegen eine für sie undurchdringliche Wand stossen. Der Druck des Gases gegen eine feste Wand hat dann seinen Grund darin, dass die Moleküle fortwährend in grosser Zahl gegen die Wand fliegen und von ihr abprallen. Durch wachsende Temperatur wird die Geschwindigkeit gesteigert, mit welcher sich die Gasmoleküle bewegen, und zwar ist die Temperatur dem Quadrat dieser Geschwindigkeit proportional.

Bei den festen Körpern oscilliren die Moleküle um eine feste Gleichgewichtslage; bei den flüssigen findet zwar eine solche Gleichgewichtslage nicht mehr statt, allein die Moleküle sind doch trotz ihrer beständigen und mannigfaltigen Bewegungen an bestimmte Abstände gebunden, sie können nicht frei auseinander fahren wie bei den Gasen.

Während nun die oben genannten Gelehrten die Ursache der Wärmephänomene in einer Bewegung der Körperatome selbst suchen, betrachtet Redtenbacher die Oscillationen der die Körperatome einhüllenden Aetheratome als Quelle der Wärmephänomene, wie er dies in seinem „Dynamidensystem" (Mannheim 1857) entwickelt.

Für die Ansicht von Krönig und Clausius spricht entschieden der Umstand, dass sich nach derselben der Unterschied zwischen strahlender Wärme und zwischen fühlbarer Wärme sehr leicht erklären lässt. Die strahlende Wärme wird vollkommen identisch mit den Lichtstrahlen durch eine Vibrationsbewegung des Aethers fortgepflanzt, während eine Vibrationsbewegung der ponderabelen Körperatome die Quelle der fühlbaren Wärme ist.

Die Entwickelung der mechanischen Wärmetheorie hat in wenigen Jahren so bedeutende Fortschritte gemacht, dass sie bald mit der Vibrationstheorie des Lichtes auf gleicher Stufe stehen wird. In dem Maasse aber, in welchem die mathematische Theorie ihrer Vollendung entgegengeht, wird es mehr und mehr gelingen, die Erklärung der verschiedenen Wärmephänomene auch in allgemein fasslicher Form auf die Principien der mechanischen Wärmetheorie zurückzuführen.

SECHSTES BUCH.

METEOROLOGIE.

Erstes Capitel.

Vertheilung der Wärme auf der Erdoberfläche.

Die Erwärmung der Erdoberfläche durch die Sonnenstrahlen. 300 Die Erwärmung der Erdoberfläche und der Atmosphäre haben wir nur den Strahlen der Sonne zu danken.

Indem die Sonnenstrahlen die Atmosphäre durchwandern, erleiden sie eine verhältnissmässig geringe Absorption, weil die Luft ein sehr diathermaner Körper ist. Erst wenn die Sonnenstrahlen die Erdoberfläche selbst treffen, werden sie absorbirt und in fühlbare Wärme verwandelt. Durch den erwärmten Boden wird die Lufthülle der Erde von unten her erwärmt.

Die Erwärmung des Bodens hängt von der Richtung ab, in welcher die Sonnenstrahlen ihn treffen, und da diese Richtung eine nach bestimmten Gesetzen regelmässig wechselnde ist, so ist klar, dass der Erwärmungszustand der Erdoberfläche und der unteren Schichten der Atmosphäre periodischen Variationen folgen muss, und zwar haben wir eine tägliche und eine jährliche Periode im Gange der Lufttemperatur (der Temperatur der untersten Luftschichten) zu unterscheiden.

Während der Erde durch die Sonnenstrahlen Wärme zugeführt wird, verliert sie auf der anderen Seite Wärme durch Ausstrahlung gegen die kälteren Himmelsräume. Im Allgemeinen halten sich Ein- und Ausstrahlung das Gleichgewicht, d. h. die Summe der Wärme, welche der Erde durch die Sonnenstrahlen zugeführt wird, ist derjenigen gleich, welche sie durch Ausstrahlung verliert. Dabei ist aber die Wärme über die Erdoberfläche weder gleichförmig noch unveränderlich vertheilt.

301 **Die fünf Zonen.** Für verschiedene Gegenden der Erdoberfläche sind die Insolationsverhältnisse äusserst ungleich. Innerhalb der Wendekreise, wo Tag und Nacht das ganze Jahr hindurch fast gleich lang sind, wo die Sonne bei ihrem höchsten Mittagsstande das Zenith passirt, und wo die niedrigste Mittagshöhe mindestens 44° (die niedrigste Mittagshöhe der Sonne ist für die Wendekreise 43° 42′, für den Aequator 66° 32′) beträgt, wo also täglich die Sonnenstrahlen eine kräftige Wirkung ausüben können, muss auch stets eine hohe Lufttemperatur herrschen. Jener zwischen den Wendekreisen (den *circulis tropicis*, Tropen) gelegene Aequatorialgürtel wird deshalb auch die heisse Zone genannt. Sie ist der Schauplatz des reichsten Thier- und Pflanzenlebens.

Den Gegensatz der heissen Zone bilden die Umgebungen der Pole.

Innerhalb der beiden von den Polarkreisen (66° 32′ nördliche und südliche Breite) begrenzten Kugelabschnitte kommt die Sonne Tage, Wochen, Monate lang gar nicht über den Horizont, und auch dann nur, um in sehr schräger Richtung den Boden zu treffen; hier also kann nur eine geringe Wärmeentwickelung stattfinden und hier starrt deshalb auch fast das ganze Jahr hindurch die Natur in Schnee und Eis.

Der von dem nördlichen Polarkreise eingeschlossene Raum wird die nördliche, der von dem südlichen Polarkreise eingeschlossene Raum wird die südliche kalte Zone genannt.

Der Gürtel zwischen dem nördlichen Wendekreis und dem nördlichen Polarkreis bildet die nördliche gemässigte Zone, gleich wie die südliche gemässigte Zone sich vom südlichen Wendekreis bis zum südlichen Polarkreis erstreckt. Je mehr man in diesen gemässigten Zonen gegen die Polarkreise vordringt, desto mehr nähern sich die Temperaturverhältnisse denen der kalten Zonen.

Im Allgemeinen also sind die Temperaturverhältnisse eines Ortes eine Function seines Abstandes vom Aequator, also seiner geographischen Breite, und wenn sie nur von den Insolationsverhältnissen bedingt wären, wenn nicht andere Factoren modificirend einwirkten, so müsste die mittlere Lufttemperatur gleich sein für alle Orte gleicher geographischer Breite. Wir werden bald sehen, dass und warum dies nicht der Fall ist.

302 **Die täglichen Variationen der Lufttemperatur.** Wenn die Sonne, nachdem sie aufgegangen ist, höher und höher über den Horizont sich erhebt, so muss die immer kräftiger wirkende Insolation ein Steigen der Lufttemperatur zur Folge haben. Wenn die Sonne ihren höchsten Stand erreicht hat, so ist jedoch die Temperatur der Erdoberfläche noch keineswegs so hoch gestiegen, dass sie ebenso viel Wärme gegen den Himmelsraum ausstrahlen könnte, als sie in jedem Augenblick durch die Sonnenstrahlen empfängt. Deshalb dauert das Steigen der Temperatur noch über Mittag fort, und erst 1 bis 2 Stunden nach der Culmination der Sonne, wenn ihre Höhe schon merklich abgenommen hat, tritt ein momentaner Gleichgewichtszustand zwischen Ein- und Ausstrah-

lung ein, das Maximum der täglichen Temperatur findet deshalb erst um 1 bis 2 Uhr Nachmittags statt. Von da an aber gewinnt bei immer mehr sinkender Sonne die Ausstrahlung das Uebergewicht, die Temperatur sinkt anfangs langsam, dann rascher in den Abendstunden. Während der Nacht, wo gar keine Einstrahlung stattfindet, dauert das Sinken der Temperatur mit abnehmender Schnelligkeit fort, bis sie zur Zeit des Sonnenaufganges ihr Minimum erreicht hat.

Da im Sommer die Sonnenhöhen im Laufe des Tages zwischen weiteren Grenzen variiren (zwischen 0 und 63° für das mittlere Deutschland), als im Winter (zwischen 0 und 17° für den 50. Breitegrad), so ist klar, dass die Grenzen, zwischen welchen die Temperatur im Laufe eines Tages schwankt, im Sommer weiter aus einander liegen als im Winter. In der That beträgt z. B. für München die Differenz zwischen der höchsten und der niedrigsten Temperatur des Tages im Monat Januar im Durchschnitt nur 2° C., während im Juli das tägliche Maximum durchschnittlich 6,2° höher ist als das tägliche Minimum.

Aus ähnlichen Gründen müssen nun auch die täglichen Temperaturschwankungen in den Aequatorialgegenden viel bedeutender sein als in höheren Breiten. Auch dies wird durch die Erfahrung bestätigt; so beobachtete z. B. Barth auf seiner Reise in das Innere von Afrika vom Aufgang der Sonne bis zum Nachmittag oft ein Steigen von 6 auf 30°, ja von 8 auf 43° C.

Die Jahreszeiten. Die Sonne theilt nicht allein mit dem ganzen Himmelsgewölbe die tägliche Umdrehung, sondern sie legt im Lauf eines Jahres am Himmelsgewölbe eine Bahn zurück, welche zur Hälfte nördlich, zur anderen Hälfte südlich von dem Himmelsäquator liegt. Eine Folge davon ist, dass wenigstens in den gemässigten Zonen Tagesdauer und Mittagshöhe der Sonne ein halbes Jahr lang zunehmen, um dann in der folgenden Jahreshälfte in gleicher Weise wieder abzunehmen. Dies hat dann den regelmässigen Wechsel der Jahreszeiten zur Folge, deren Verlauf wir zunächst für die geographische Breite des mittleren Deutschlands betrachten wollen. 303

Am 21. März passirt die Sonne den Himmelsäquator, um von der südlichen auf die nördliche Himmelskugel überzugehen. Tag und Nacht sind gleich lang, und die Mittagshöhe, zu welcher die Sonne ansteigt, beträgt 40°. Nun aber findet eine rasche Zunahme der Mittagshöhe der Sonne sowohl wie auch der Tagesdauer statt; bei immer kräftiger werdender Insolation bleibt der Boden nun länger und länger dem erwärmenden Einfluss der Sonnenstrahlen ausgesetzt, die Lufttemperatur muss also steigen.

Allmälig wird die Zunahme der Tagesdauer und der Mittagshöhe langsamer, bis endlich am 21. Juni die Sonne ihre grösste nördliche Breite erreicht, und somit auch der längste Tag von 16 Stunden und die grösste Mittagshöhe der Sonne von $63\frac{1}{2}$ Graden eintritt.

Aus demselben Grunde, warum das tägliche Maximum der Temperatur nicht auf die Mittagsstunde fällt, tritt auch das jährliche Temperaturmaximum nicht mit dem längsten Tage ein, sondern später, so dass im Durchschnitt der Juli der heisseste Monat ist.

Nach dem längsten Tage nimmt die Tagesdauer und die Mittagshöhe der Sonne erst langsam, dann rascher ab, und mit der rascheren Abnahme beider stellt sich dann auch ein Sinken der Luftwärme ein. Am 22. September, dem Herbstäquinoctium, passirt die Sonne abermals den Himmelsäquator, um auf die südliche Hemisphäre der Himmelskugel überzugehen. Nun werden die Nächte länger als der Tag, die Mittagshöhe der Sonne nimmt mehr und mehr ab, bis sie am 21. December, als am kürzesten Tage (von 8 Stunden) ihr Minimum von 17 Grad erreicht. Unter diesen Umständen, da die Wirkung der ohnehin sehr schräg auffallenden Sonnenstrahlen nur auf wenige Stunden beschränkt bleibt, und der Boden die lange Nacht hindurch Wärme durch Ausstrahlung verliert, muss die Lufttemperatur bedeutend sinken; doch tritt das Minimum der Jahrestemperatur in der Regel erst gegen die Mitte des Januars ein, da unmittelbar nach dem kürzesten Tage die Zunahme der Tageslänge und der Mittagshöhe der Sonne noch zu unbedeutend ist, um ein Steigen der Temperatur bewirken zu können.

So ist denn im Allgemeinen der Gang der Lufttemperatur im Laufe des Jahres für Deutschland folgender: Von der Mitte Januar an steigt die Temperatur bis gegen die Mitte Juli, um von da allmälig bis zur Mitte Januar wieder abzunehmen. Das Steigen und Fallen der Temperatur ist am langsamsten vor und nach der Zeit des jährlichen Maximums und Minimums, am raschesten um die Zeit der Aequinoctien.

Die drei heissesten Monate, Juni, Juli und August, bilden den Sommer, die Zeit, in welcher die kräftigste Entwickelung der Vegetation vor sich geht. Den Winter bilden die drei kältesten Monate, December, Januar und Februar, während welcher die Vegetation fast gänzlich ruht. Während des Frühlings, März, April und Mai, findet ein allmäliges Erwachen, während des Herbstes, September, October und November, ein allmäliges Absterben der Pflanzenwelt statt.

Der eben beschriebene Wechsel der Jahreszeiten bezieht sich auf Länder mittlerer geographischer Breite; in höheren wie in niederen Breiten gestaltet sich die Sache wesentlich anders.

Unter höheren Breiten wird die Dauer des kürzesten Tages immer geringer, die Sonnenhöhe immer unbedeutender, die Winterkälte muss also gegen die Pole hin immer zunehmen; zugleich aber nimmt die Dauer des Winters zu, denn während der Aequinoctialperiode ist die Wirkung der Sonnenstrahlen in jenen Ländern noch viel zu gering, um Eis und Schnee zu schmelzen oder das Gefrieren des Wassers zu verhindern, der Winter erstreckt sich also noch über einen Theil der Monate, welche bei uns den Frühling und den Herbst ausmachen. Im Sommer aber wird die im Vergleich zu unseren Gegenden geringere Mittagshöhe der Sonne

(unter dem 60. Breitegrade z. B., welcher ungefähr über Petersburg und Stockholm geht, ist der längste Tag $18^1/_2$ Stunde, die höchste Mittagshöhe der Sonne $53^1/_2{}^0$) durch die längere Dauer der Sommertage nahezu wieder ausgeglichen, so dass die Sommerhitze immer noch eine sehr bedeutende werden kann. In jenen Gegenden herrscht also ein langer kalter Winter, welcher rasch in einen heissen kurzen Sommer übergeht, so dass die Uebergangs-Jahreszeiten, Frühling und Herbst, mehr und mehr verschwinden.

Innerhalb der Polarkreise fallen endlich die Sonnenstrahlen selbst zur Zeit der grössten Sonnenhöhe noch so schräg auf, dass sie trotz der langen Tagesdauer keine kräftige Erwärmung hervorbringen können; statt des Sommers tritt nur eine mehr oder weniger bedeutende Unterbrechung in der Strenge der Winterkälte ein.

Wenden wir uns von Deutschland aus zu südlicheren Ländern, so muss dort aus zweierlei Gründen der Winter immer milder werden, denn einmal erreicht die Sonne selbst zur Zeit des Wintersolstitiums noch eine ziemlich bedeutende Mittagshöhe (unter dem 30. Breitegrade z. B. noch $36^1/_2{}^0$), während zugleich die Dauer der Wintertage grösser ist als bei uns (für den 30. Breitegrad z. B. ist die Dauer des kürzesten Tages 10 Stunden 4 Minuten). Während so die Winterwärme steigt, wächst die Sommerwärme nicht im gleichen Maasse, denn die Wirkung der grösseren Sonnenhöhe wird dadurch zum Theil neutralisirt, dass die Sommertage nicht so lang sind als bei uns.

Die Differenz zwischen Sommer- und Wintertemperatur muss also um so mehr abnehmen, je mehr wir uns von den Polen aus den Wendekreisen nähern.

Innerhalb der Wendekreise aber verschwindet der Charakter unserer Jahreszeiten fast ganz. Auf dem Aequator passirt die Sonne zweimal, im März und September, das Zenith, während die niedrigste Mittagshöhe der Sonne (Ende Juni und December) noch $66^1/_2{}^0$ beträgt. Bedenkt man ferner, dass auf dem Aequator das ganze Jahr hindurch Tag und Nacht gleich sind, so begreift man leicht, dass die jährlichen Temperaturvariationen für die Aequatorialgegenden nur sehr unbedeutend sein können.

Vom Aequator aus gegen die Wendekreise hin wird allmälig der Charakter unserer Jahreszeiten wieder merklich, während er erst in den gemässigten Zonen entschieden zur Geltung kommt.

In den südlichen gemässigten Zonen wechseln die Jahreszeiten wie bei uns, nur ist begreiflich dort Winter, wenn wir Sommer haben und umgekehrt.

Im Allgemeinen bestätigt die Erfahrung die Resultate der obigen Betrachtung. So beträgt z. B. die Differenz zwischen der mittleren Temperatur des heissesten und des kältesten Monats für

Quito	1,4° R.	München	15,6° R.
Havannah	4,5	Prag	18,6
Mexico	6,3	Moskau	23,5
Palermo	11,1	Irkutzk	30,3
Rom	13,7	Jakutzk	50,8

304 **Modificationen normaler Temperaturverhältnisse.** Die durch die Attraction der Sonne vorgeschriebene Bahn eines jeden Planeten wird durch den störenden Einfluss der übrigen kaum alterirt, die Störungen spielen hier nur eine untergeordnete Rolle. Anders ist es mit den klimatischen Verhältnissen. Allerdings ist der Erwärmungszustand der unteren Luftschichten eine Function der Insolationsverhältnisse, aber eine Function, in welcher mehrere mannigfach wechselnde Factoren eintreten, so dass die Störungen den regelmässigen Gang oft gänzlich maskiren. Wäre die Natur der Erdoberfläche überall dieselbe (d. h. fehlte die Abwechselung zwischen Wasser und Land, zwischen Berg und Thal, zwischen bewaldetem und pflanzenleerem Boden), würde die Wirkung der Insolation nicht durch wechselnde Bewölkung des Himmels modificirt, und würde die Wärme nicht durch Luft- und Meeresströmungen von einem Orte zum anderen fortgeführt, so müssten nicht allein alle Orte gleicher geographischer Breite gleiche klimatische Verhältnisse haben, sondern es müssten auch die täglichen und jährlichen Variationen der Lufttemperatur vollkommen regelmässig verlaufen.

Dem ist aber in der That nicht so. — So hat z. B. Neapel eine mittlere Jahreswärme von 12,25°, während bei gleicher nördlicher Breite Newyork nur eine mittlere Jahreswärme von 8,7° hat. Christiania und Quebec haben fast gleiche mittlere Jahreswärme (4,2 und 4,4°) und doch liegt Quebec um mehr als 13 Breitegrade südlicher als Christiania. Ebenso ist an einem und demselben Orte der Gang der Wärme von einem Jahr zum anderen sehr verschieden, und demselben Jahrestag entspricht keineswegs stets dieselbe Temperatur, wie es sein müsste, wenn die Luftwärme allein vom Sonnenstande abhinge. So war z. B. zu Frankfurt am Main — 14° R. die mittlere Temperatur des 22. Januar 1850, + 8,5° R. die desselben Tages im Jahre 1846. — Im Jahre 1846 war zu Frankfurt am Main der 22. Januar um 2° wärmer als der 14. Mai. Ebendaselbst fiel im Jahre 1841 der heisseste Tag auf den 24. Mai (20° R.), im Jahre 1842 aber auf den 19. August (mit 21° R.).

Solche Anomalien zeigen deutlich, wie sehr die Luftwärme ausser von Insolationsverhältnissen noch von anderen mächtig influirenden und veränderlichen Factoren bedingt werde. Wenn am 22. Januar 1846 zu Frankfurt am Main eine Wärme von $8\frac{1}{2}°$ R. herrschte, so konnte diese hohe Temperatur unmöglich direct durch die Sonnenstrahlen hervorgerufen sein, und zwar um so weniger, als jener Tag ein durchaus bewölkter Regentag war; die damals herrschenden Südwestwinde hatten die Wärme offenbar aus südlicheren Gegenden zugeführt; ebenso wie die verhältniss-

mässig niedrige Temperatur des 14. Mai nur das Resultat rauher Nordostwinde war.

Aus alle dem geht hervor, dass man die Temperaturverhältnisse eines Ortes nicht aus theoretischen Betrachtungen ableiten, sondern dass man sie nur durch längere Zeit fortgesetzte Beobachtungen ermitteln kann.

Mittlere Temperatur der Tage, der Monate und des Jahres. 305 Wenn man von einer Mitternacht bis zur nächsten alle Stunden ein zweckmässig aufgestelltes Thermometer beobachtet und aus den 24 Beobachtungen das Mittel nimmt, so erhält man die mittlere Temperatur des Tages.

Solche stündliche Beobachtungen einige Zeit lang mit ununterbrochener Regelmässigkeit anzustellen, ist ungemein mühsam, selbst wenn sich mehrere Personen in das Geschäft theilen. Man hat deshalb andere Methoden in Vorschlag gebracht, um die mittlere Temperatur eines Tages zu finden. Man erhält dieselbe z. B. sehr nahe richtig, wenn man um 7 Uhr Morgens, um 2 Uhr Nachmittags und um 9 Uhr Abends die Lufttemperatur beobachtet und aus diesen drei Beobachtungen das Mittel zieht. Andere ganz passende Beobachtungsstunden, deren Mittel gleichfalls das Tagesmittel repräsentiren, sind 7 Uhr Morgens und 7 Uhr Abends. Endlich findet man auch das Tagesmittel, wenn man aus dem Maximum und Minimum der Temperatur, welches innerhalb 24 Stunden stattfand und welches an besonders zu diesem Zweck construirten, hier nicht näher zu besprechenden Instrumenten, den Thermometrographen, beobachtet wird, das Mittel nimmt.

Hat man auf die eine oder andere Weise die mittlere Temperatur aller Tage eines Monats ermittelt, so erhält man die mittlere Temperatur des Monats, wenn man aus den 30 oder 31 Tagesmitteln wieder das Mittel nimmt.

Die aus den 12 Monatsmitteln gezogene Mittelzahl giebt dann die mittlere Temperatur des ganzen Jahres an.

So ergeben sich z. B. aus den zu Berlin angestellten Beobachtungen folgende Mittelwerthe für die Temperatur der einzelnen Monate und des ganzen Jahres von 1829 bis 1834 (siehe Tabelle a. S. 946).

Hat man für einen Ort die mittlere Temperatur der einzelnen Monate und des ganzen Jahres während eines längeren Zeitraumes ermittelt, so ergiebt sich das allgemeine Monatsmittel, wenn man die Mitteltemperaturen desselben Monats, wie man sie in den einzelnen Jahren erhalten hat, addirt und die erhaltene Summe durch die Zahl der Beobachtungsjahre dividirt. Auf diese Weise haben sich aus einer Reihe von 24 Beobachtungjahren die allgemeinen Monatsmittel für Berlin ergeben, wie man sie in der letzten Columne obiger Tabelle unter D findet.

Auf gleiche Weise ergiebt sich das allgemeine Jahresmittel, welches für Berlin 7,18° R. ist.

	1829	1830	1831	1832	1833	1834	D
Januar . . .	— 4,66	— 6,11	— 3,71	— 1,13	— 2,69	— 2,83	— 1,90
Februar . . .	— 2,88	— 3,40	0,60	0,97	1,77	1,16	— 0,15
März	1,38	3,88	3,14	3,16	3,01	3,74	2,74
April	7,19	8,41	9,00	7,20	5,06	6,20	6,88
Mai	9,49	11,22	9,98	9,49	14,38	12,74	10,92
Juni	14,56	14,01	12,60	13,61	15,27	15,17	13,94
Juli	15,43	15,39	15,40	12,64	14,59	18,69	15,04
August . . .	13,85	14,17	14,63	14,65	11,31	16,77	14,43
September . .	11,59	11,18	10,53	10,53	11,27	12,49	11,75
October . . .	6,35	7,28	9,74	7,62	7,04	7,69	7,97
November . .	0,71	4,72	2,71	2,62	3,39	3,81	3,25
December . .	— 6,93	— 0,47	1,43	1,08	3,80	1,68	1,32
Jahr	5,50	6,77	7,16	6,86	7,35	8,58	7,18

Je länger die Beobachtungsreihen fortgesetzt sind, desto richtiger werden die aus ihnen berechneten allgemeinen Monats- und Jahresmittel.

306 **Jahresisothermen.** Um den normalen Gang der Wärme für irgend einen Ort zu ermitteln, muss man durch möglichst lange fortgesetzte Beobachtungen das allgemeine Mittel der einzelnen Monate bestimmen, und um ein wahres Bild der Vertheilung der Wärme auf der Erdoberfläche zu erhalten, muss man die Beobachtungsresultate der verschiedensten Weltgegenden zusammenstellen. Die Zahlen der nebenstehenden Tabelle sind dem reichen Material entnommen, welches Dove gesammelt und in den Abhandlungen der Berliner Akademie veröffentlicht hat.

Die Temperaturangaben dieser Tabelle beziehen sich auf Réaumur'sche Grade, weil diese Scala für Witterungsbeobachtungen die verbreitetste ist.

Eine südliche Breite ist in dieser Tabelle durch *S* bezeichnet, wo dagegen keine weitere Bezeichnung beigefügt ist, ist von einer nördlichen Breite die Rede.

Eine klare Uebersicht über die Vertheilung der Wärme auf der Erde hat zuerst Humboldt durch seine isothermischen Linien möglich gemacht, durch welche er alle solche Orte derselben Hemisphäre verband, welche gleiche mittlere Jahreswärme haben.

Denken wir uns z. B., dass ein Reisender, von Paris ausgehend, eine Reise um die Erde in der Weise macht, dass er alle Orte der nördlichen

Halbkugel besucht, welche dieselbe mittlere Jahreswärme haben wie Paris, nämlich 10,8° C. oder 8,6° R., so wird der Weg, den er auf diese Weise

	Geographische Breite.	Mittlere Temperatur des Jahres.	des heissesten Monats.	des kältesten Monats.
Singapore	1° 17′	21,6	22,4	20,6
Guinea	5 30	21,9	23,0	20,0
Batavia	6 9	20,6	21,3	19,1
Kouka	13 10	22,9	26,8	17,7
Calcutta	22 38	22,4	25,9	16,6
Rio Janeiro . . .	22 54 S	18,6	21,4	15,6
Havannah	23 9	20,1	22,0	17,5
Cairo	30 2	17,8	23,9	10,7
Bermudas	32 30	15,7	19,9	11,0
Funchal	32 38	15,8	18,6	13,8
Capstadt	33 56 S	15,3	19,5	11,4
Adelaide	34 35 S	16,2	23,3	9,9
Gibraltar	36 7	15,7	21,1	11,4
Algier	36 47	14,3	19,8	9,3
Peking	39 54	10,1	22,0	— 3,0
New-York	40 43	8,7	18,3	— 3,4
Neapel	40 52	12,2	19,0	6,5
Albany	42 39	7,2	17,8	— 3,6
Hobart-Town . .	42 53 S	9,1	13,8	3,6
Sebastopol	44 36	9,3	17,4	1,0
Halifax	44 39	3,6	16,9	— 6,2
Bordeaux	44 50	11,1	18,3	4,0
Astrachan	46 21	8,2	20,3	— 8,6
Quebec	46 48	4,4	18,4	— 8,6
Fort Vancouver .	48 37	8,8	15,1	2,7
Paris	48 50	8,6	15,0	1,5
Frankfurt a. M. .	50 10	7,8	15,1	— 0,24
Brüssel	50 51	8,3	14,4	1,5
Breslau	51 3	6,6	14,8	— 1,8
Düsseldorf	51 14	8,8	15,3	1,4
London	51 30	8,3	14,0	2,2
Falklands Inseln .	52 0	6,8	10,6	2,4
Irkutzk	52 17	0,3	14,6	— 15,7
Berlin	52 30	7,2	15,0	— 1,9
Barnaul	53 20	— 0,3	15,8	— 16,7
Dublin	53 21	7,6	12,7	2,9
Moskau	55 45	3,6	15,3	— 8,2
Edinburg	55 58	6,7	11,9	2,4
Tübingen	48 31	6,6	14,2	— 1,44
Sitcha	57 3	6,0	11,5	1,0
Petersburg . . .	59 56	3,4	14,1	— 8,4
Bergen	60 24	6,6	12,6	1,34
Jakutzk	62 1	— 8,25	16,3	— 34,4
Raykiavig	64 8	3,3	10,7	— 1,0
Torneo	66 24	— 0,42	13,1	— 12,7
Ustjansk	70 58	— 12,4	—	—
Nordcap	71 10	0,11	6,4	— 4,4
Insel Melville . .	74 47	— 13,7	4,6	— 28,1

zurücklegt, eine *Linie gleicher mittlerer Jahreswärme*, also eine *isotherme Linie* sein; diese Linie fällt aber nicht mit dem Breitengrad von Paris zusammen, sie ist unregelmässig gekrümmt, d. h. sie geht durch Orte, welche eine ganz andere Breite haben als Paris.

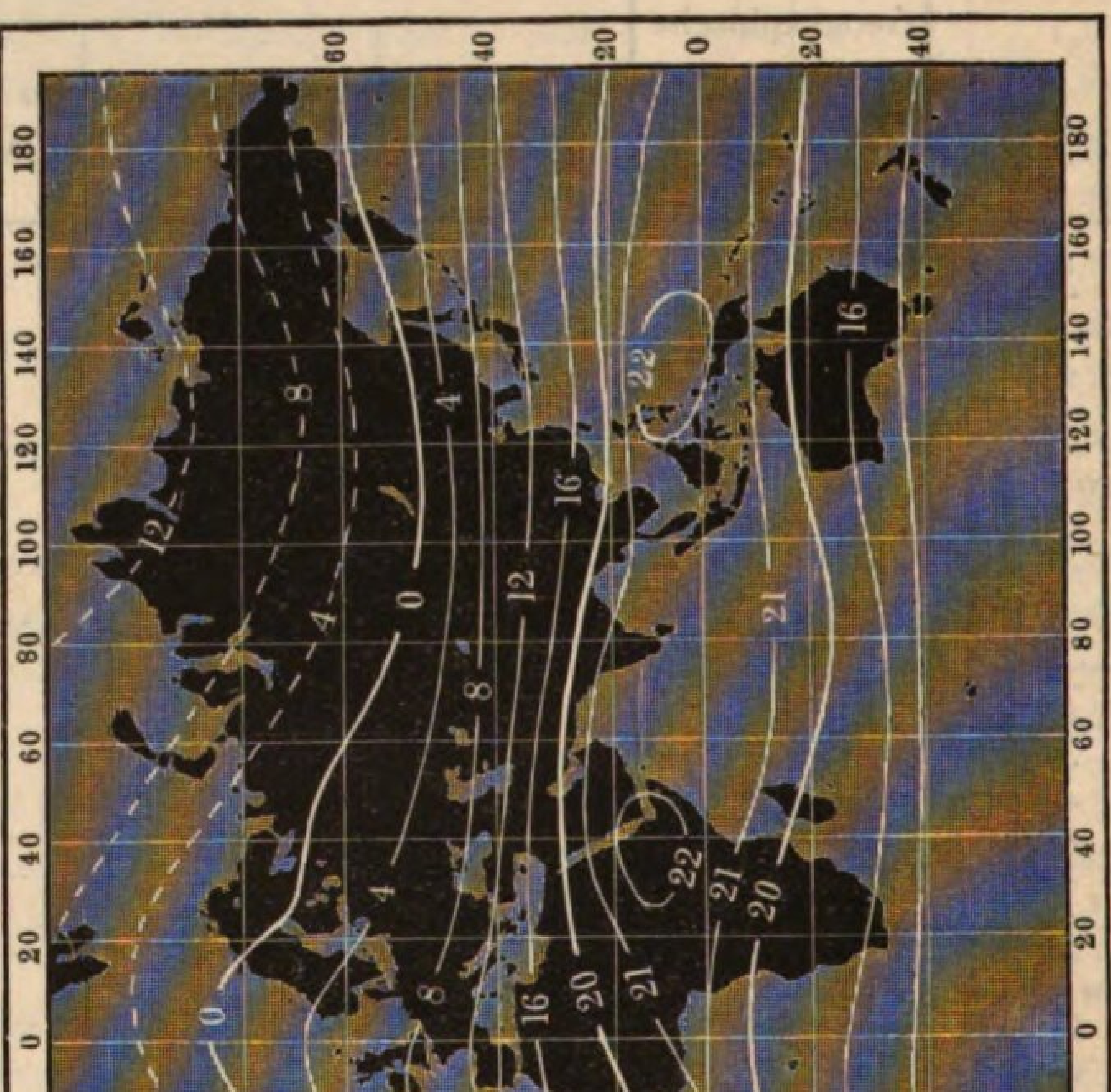


Fig. 753.

Die Karte Fig. 753 stellt die Erdoberfläche in Aequatorial-Projection mit den Isothermen von 4 zu 4^0 R. dar; ausserdem befinden sich noch

innerhalb des Gürtels, für welchen die mittlere Jahreswärme 20° R. übersteigt, die Curven von 21 und 22° mittlerer Jahreswärme.

Die Anschauung dieser Karte erspart uns eine weitere Beschreibung des Laufes der Isothermen. Man sieht, dass ihre Krümmungen in der nördlichen Halbkugel um so bedeutender werden, je weiter man sich vom Aequator entfernt; die Isotherme von 0° z. B. steigt von dem südlichen Ende der Küste von Labrador über Island nach dem Nordcap, um sich im Inneren von Asien wieder bedeutend zu senken.

Da, wo sich die Isothermen am weitesten nach Süden herabsenken, bilden sie einen concaven, da, wo sie am höchsten nach Norden steigen, bilden sie einen convexen Gipfel. Die südlichen Wendepunkte der Isothermen liegen im östlichen Nordamerika und im Inneren von Asien, die nördlichen Wendepunkte dagegen liegen an den Westküsten von Europa und Amerika.

Die Temperaturverhältnisse der südlichen Hemisphäre sind uns bei Weitem nicht so vollständig bekannt, wie die der nördlichen, doch ist es wohl als ausgemacht zu betrachten, dass die südliche Halbkugel kälter ist als die nördliche; dieser Unterschied möchte aber wohl geringer sein, als man vielfach anzunehmen geneigt ist. Was vielleicht dazu beigetragen hat, die südliche Halbkugel für so bedeutend kälter zu halten als die nördliche, ist wohl der Umstand, dass man die Temperaturverhältnisse der südlichsten Theile von Amerika mit den Temperaturverhältnissen gleicher nördlicher Breiten in Europa verglichen hat, wo ja die Isothermen so ausserordentlich weit nach Norden in die Höhe steigen; die Sache stellt sich ganz anders, wenn man die Gegenden von Südamerika mit solchen vergleicht, welche gleich weit vom Aequator an der Ostküste von Nordamerika liegen.

Dass die südliche Halbkugel etwas kälter ist als die nördliche, rührt wohl daher, dass auf der nördlichen das Land, auf der südlichen hingegen das Meer vorherrscht. Das feste Land erwärmt sich durch die Absorption der Sonnenstrahlen weit mehr als das Meer, welches einen grossen Theil dieser Strahlen reflectirt.

Isotheren und Isochimenen. Dass nicht alle Orte, welche 307
auf demselben Parallelkreise liegen, ein gleiches Klima haben, ist bereits angeführt worden, es fragt sich aber nun, ob denn alle Orte, welche auf derselben Isotherme liegen, alle Orte also, für welche die mittlere Jahreswärme gleich ist, auch sonst gleiche klimatische Verhältnisse haben. Man braucht nur die Tabelle auf Seite 947 anzusehen, um sich zu überzeugen, dass dies nicht der Fall ist. Edinburg und Tübingen haben fast gleiche mittlere Jahreswärme von 6,7 und 6,6°, in Edinburg ist aber die mittlere Temperatur des kältesten Monats 2,4°, in Tübingen ist sie — 1,44°; Tübingen hat also einen weit kälteren Winter als Edinburg, dagegen ist die mittlere Temperatur des Juli für Tübingen 14,2, für Edinburg nur 11,9°.

Bei gleicher mittlerer Jahrestemperatur hat also Edinburg einen gelinderen Winter und einen kühleren Sommer als Tübingen.

Um die Wärmeverhältnisse eines Landes zu kennen, reicht es also nicht hin, dass man weiss, welches seine mittlere Jahrestemperatur ist, man muss auch wissen, wie die Wärme auf die verschiedenen Jahreszeiten vertheilt ist. Diese Vertheilung kann man auf einer Isothermenkarte dadurch zeigen, dass man, nach Humboldt's Beispiele, an den verschiedenen Stellen einer und derselben Isotherme die mittlere Sommer- und Wintertemperatur beischreibt, was in unserer Isothermenkarte wegen ihrer Kleinheit nicht möglich war; man sieht alsdann bald, dass gerade in der Nähe der convexen Gipfel der Isothermen auch die Differenzen zwischen der mittleren Sommer- und Wintertemperatur am geringsten sind; dieselben Ursachen also, welche machen, dass die Isothermen an den Westküsten von Europa und Amerika so hoch nach Norden steigen, machen auch die Differenz zwischen der Sommer- und Wintertemperatur geringer. Eine sehr gute Uebersicht in Beziehung auf die Vertheilung der Wärme zwischen Winter und Sommer gewährt eine Karte, in welcher man alle Orte durch Curven verbindet, welche gleiche mittlere Wintertemperatur, und diejenigen, welche gleiche mittlere Sommertemperatur haben. Die

Fig. 754.



Linien gleicher mittlerer Wintertemperatur heissen Isochimenen, die Linien gleicher mittlerer Sommertemperatur heissen Isotheren. Fig. 754 stellt ein Kärtchen von Europa mit den Isotheren und Isochimenen von 4 zu 4 Grad Réaumur dar.

Die ausgezogenen Curven sind die Isochimenen, die punktirten

sind die Isotheren. Man ersieht aus dieser Karte leicht, dass die Westküste des südlichen Theiles von Norwegen, Dänemark, ein Theil von Böhmen und Ungarn, Siebenbürgen, Bessarabien und die Südspitze der Halbinsel Krim gleiche mittlere Wintertemperatur von 0^0 haben. Böhmen hat aber einen gleichen Sommer mit dem Ausflusse der Garonne, und in der Krim ist der Sommer noch weit wärmer. Dublin hat gleiche mittlere Wintertemperatur, nämlich 4^0, mit Nantes, Oberitalien und Constantinopel und gleiche mittlere Sommerwärme mit Drontheim und Finnland.

Die Isothere von 16^0 geht von dem Ausflusse der Garonne ungefähr über Strassburg und Würzburg nach Böhmen, der Ukraine, dem Lande der Donischen Kosacken und geht etwas nördlich vom Caspischen Meere vorbei; wie ungleich ist aber die mittlere Wintertemperatur an verschiedenen Orten dieser Isothere! An der Westküste von Frankreich ist sie 4^0, in Böhmen 0^0, in der Ukraine — 4^0 und etwas nördlich vom Caspischen Meere gar — 8^0.

Land- und Seeklima. Die Betrachtung der letzten Karte und der Tabelle auf Seite 947 führt uns zu der wichtigen Unterscheidung zwischen Land- und Seeklima, oder, wie man es auch ausdrückt, zwischen Continental- und Küstenklima. Die Differenzen zwischen der Sommer- und Wintertemperatur wachsen mit der Entfernung vom Meere; an den Meeresküsten herrschen kühle Sommer und milde Winter, im Inneren des Landes heisse Sommer und kalte Winter. Diese Differenzen treten sehr lebhaft hervor, wenn man die Temperaturverhältnisse der Westküsten von Europa mit denen des nördlichen Asiens vergleicht. Um das Verhältniss der mittleren Jahreswärme zu der Vertheilung der Wärme leicht ersehen zu können, ist in den folgenden, der Tabelle S. 947 entnommenen Beispielen die mittlere Jahreswärme vor, die mittlere Wärme des heissesten Monats über, die mittlere Temperatur des kältesten Monats unter einen Horizontalstrich gesetzt. 308

Küstenklima:		Continentalklima:	
Nordcap	$0{,}1\ \frac{6{,}4}{-\,4{,}4}$	Jakutzk . . .	$-\,8{,}2\ \frac{16{,}3}{-\,34{,}4}$
Raykiavig . . .	$3{,}3\ \frac{10{,}7}{-\,1{,}0}$	Irkutzk . . .	$0{,}3\ \frac{14{,}6}{-\,15{,}7}$
		Moskau . . .	$3{,}6\ \frac{15{,}3}{-\,8{,}2}$

Welchen Einfluss solche klimatische Verschiedenheiten auf die Vegetation ausüben müssen, ist klar. An mehreren Orten Sibiriens, in Jakutzk z. B., wo die mittlere Jahrestemperatur — 8,2^0 R. ist, die mittlere Januartemperatur aber — 34,4^0 beträgt, wird während des kurzen, aber heissen Sommers Weizen und Roggen auf einem Boden gebaut, welcher in einer Tiefe von 3 Fuss beständig gefroren bleibt, während auf der

Insel Island bei ungleich höherer Jahrestemperatur und bei einer unbedeutenden Winterkälte an den Bau von Cerealien nicht mehr zu denken ist, weil die niedrige Sommertemperatur nicht hinreicht, sie zur Reife zu bringen.

Im nordöstlichen Irland, wo im Winter kaum Eis friert, in gleicher Breite mit Königsberg, gedeihet die Myrthe so kräftig wie in Portugal; auf den Küsten von Devonshire überwintert die *Camelia japonica* und die *Fuchsia coccinea* im Freien; der Winter ist in Plymouth nicht kälter als in Florenz und Montpellier; der Weinbau gedeiht aber nicht in England, weil die Rebe wohl eine ziemlich starke Winterkälte vertragen kann, aber eines heissen Sommers bedarf, wenn die Trauben reifen und einen trinkbaren Wein liefern sollen.

Diese Unterschiede rühren daher, dass das feste Land, die Wärmestrahlen leichter absorbirend und ausstrahlend, sich schneller erwärmt und leichter wieder erkaltet, als das Meer, welches, überall von gleichförmiger Natur, wegen seiner Durchsichtigkeit, wegen der bedeutenden specifischen Wärme des Wassers nicht so schnell erwärmt wird, die einmal erlangte Wärme aber auch nicht so schnell abgiebt. Die Temperatur der Meeresoberfläche ist deshalb weit gleichförmiger; sowohl die täglichen als auch die jährlichen Temperaturschwankungen sind ungleich geringer als in der Mitte der grossen Continente, und dadurch ist gerade der schon oben erwähnte Unterschied zwischen Land- und Seeklima bedingt, welcher dadurch grösser wird, dass an den Küsten der nördlich gelegenen Länder der Himmel meistens bedekt ist, was sowohl den wärmenden Einfluss der Sonnenstrahlen im Sommer mässigt, als auch die starke Erkaltung des Bodens durch Wärmestrahlung hindert.

309 **Ursachen der Biegung der Isothermen.** Die wichtigsten Ursachen, welche bewirken, dass die Isothermen an den Westküsten von Europa und Amerika so stark nach Norden sich biegen, sind im Wesentlichen folgende.

In der nördlichen gemässigten Zone sind die Südwest- und die Nordostwinde die vorherrschenden. Der Südwestwind kommt aus den Aequatorialgegenden und führt die Wärme der Tropen zum Theil nach den kälteren Ländern; dieser erwärmende Einfluss der Südwestwinde wird aber in solchen Ländern vorzugsweise merklich werden, welche der südwestlichen Luftströmung am meisten ausgesetzt sind, und somit erklärt sich, dass die Westküsten der grossen Continente wärmer sind, als die Ostküsten, dass die Isothermen in Europa, welches eigentlich nur eine halbinselförmige Verlängerung des asiatischen Continentes ist, sowie an den Westküsten von Nordamerika weiter nach Norden steigen als im Inneren von Asien und an den Ostküsten von Nordamerika.

Ein zweiter Umstand, welchem Europa sein verhältnissmässig warmes Klima verdankt, ist der, dass sich im Süden von Europa, in der Aequatorialzone, nicht ein Meer, sondern ein ausgebreitetes Land, näm-

lich Afrika, befindet, dessen grossentheils kahler und sandiger Boden unter dem Einflusse der senkrecht auffallenden Sonnenstrahlen ausserordentlich heiss wird. Ein warmer Luftstrom steigt beständig von den glühenden Sandwüsten in die Höhe, um sich dann in Europa wieder herabzusenken.

Endlich trägt eine unter dem Namen des Golfstromes bekannte Meeresströmung sehr zur Milderung des europäischen Klimas bei. Der Ursprung dieses Stromes ist im mexikanischen Meerbusen zu suchen, wo das Meerwasser bis zu einer Temperatur von 24° R. erwärmt wird. Zwischen Cuba und Florida aus dem mexikanischen Meerbusen heraustretend, folgt der Strom anfangs den amerikanischen Küsten, um sich dann mit stets zunehmender Breite und abnehmender Temperatur östlich nach Europa hinzuwenden. Wenn auch der Golfstrom selbst nicht bis an die Küsten von Europa reicht, so verbreitet sich doch sein warmes Wasser, namentlich unter dem Einflusse der vorherrschenden Südwestwinde, in den europäischen Gewässern, was schon daraus hervorgeht, dass man an den westlichen Küsten von Irland und an den Küsten von Norwegen Früchte von Bäumen findet, die in der heissen Zone Amerikas wachsen; die West- und Südwestwinde bleiben also lange mit einem Meerwasser in Berührung, dessen Temperatur zwischen dem 45. und 50. Breitengrade selbst im Januar nicht unter 7 bis 8° R. sinkt. Unter dem Einfluss dieses Golfstromes ist das nördliche Europa durch ein eisfreies Meer von dem Gürtel des Polareises getrennt; selbst in der kältesten Jahreszeit erreicht die Grenze des Polareises nicht die europäischen Küsten.

Während so alle Umstände zusammenwirken, um die Temperatur in Europa zu erhöhen, wirken im nördlichen Asien mehrere Ursachen zusammen, um die Isothermen bedeutend herabzusenken. Im Süden von Asien liegen zwischen den Wendekreisen keine bedeutenden Ländermassen, nur einige asiatische Halbinseln ragen in die heisse Zone hinein; das Meer aber erwärmt sich nicht so stark wie die afrikanischen Wüsten, theils weil das Wasser die Wärmestrahlen ungleich weniger absorbirt, theils aber auch, weil bei der fortwährenden Verdampfung von Wasser auf der Oberfläche des Meeres sehr viel Wärme gebunden wird. Die warmen Luftströme, welche, aus dem Becken des indischen Oceans aufsteigend, die Wärme der Tropen dem inneren und nördlichen Asien zuführen könnten, werden aber durch die ungeheuren Gebirgsketten im Süden von Asien aufgehalten, während das nach Norden hin allmälig sich verflachende Land den Nord- und den Nordostwinden preisgegeben ist. Während sich Europa nicht weit nach Norden erstreckt, ragt Asien weit in das nördliche Eismeer hinein, welches, hier allen wärmenden Einflüssen entzogen, durch welche die Temperatur der europäischen Meere erhöht wird, fast immer mit Eis bedeckt ist. Ueberall reichen die Nordküsten von Asien bis an die Wintergrenze des Polareises, und die Sommergrenze dieses Eises entfernt sich nur auf kurze Zeit an einigen Stellen von den Küsten; dass aber dieser Umstand die Temperatur bedeutend erniedrigen muss,

ist klar, wenn man bedenkt, wie viel Wärme bei der Schmelzung solcher Eismassen gebunden wird.

Die bedeutende Senkung der Isothermen im Inneren und an den Ostküsten von Nordamerika rührt zum Theil daher, dass die Südwestwinde hier nicht mehr Seewinde, sondern Landwinde sind, dass sie also hier nicht mehr den mildernden Einfluss ausüben können wie auf den Westküsten. Während die europäischen Küsten von wärmerem Wasser bespült sind, ziehen sich an den Ostküsten von Nordamerika kalte Meeresströmungen von Norden nach Süden. Eine solche Strömung, von Spitzbergen herkommend, geht zwischen Island und Grönland hindurch und vereinigt sich dann mit den aus der Hudsons- und Baffinsbai kommenden Strömungen, um an der Küste von Labrador herab, bei Neufoundland vorbei zu treiben und sich unter dem 44. Breitengrade in den Golfstrom zu ergiessen. Diese arktische Strömung trägt die Kälte der Polarregionen theils durch die niedrige Temperatur des Wassers, theils aber auch durch die schwimmenden Eisberge in die südlicheren Gegenden, und so ist diese Strömung ein Hauptgrund der bedeutenden Senkung der Isothermen an den Ostküsten von Amerika.

310 **Temperatur des Bodens.** Wir haben bisher nur immer die Temperatur der Luft, aber nicht die Temperatur der oberen Bodenschichten besprochen, welche je nach der Natur der Bodenfläche oft bedeutend von der Lufttemperatur verschieden sein kann; ein nackter, des Pflanzenwuchses beraubter, steiniger oder sandiger Boden wird durch die Absorption der Sonnenstrahlen weit heisser; ein mit Pflanzen bedeckter Boden, z. B. ein Wiesengrund, wird durch die nächtliche Strahlung weit kälter als die Luft, deren Temperatur schon durch die fortwährenden Luftströmungen mehr ausgeglichen wird. In den afrikanischen Wüsten steigt die Hitze des Sandes oft auf 40 bis 48^0 R. Ein mit Pflanzen bedeckter Boden bleibt kühler, weil die Sonnenstrahlen ihn nicht direct treffen können; die Pflanzen selbst binden gewissermaassen eine bedeutende Wärmemenge, indem durch die Vegetation eine Menge Wasser verdunstet; sie erkalten aber auch, wie wir bald näher sehen werden, wenn wir die Thaubildung betrachten, bei ihrem grossen Emissionsvermögen durch Ausstrahlung der Wärme so stark, dass die Temperatur des Grases oft 6 bis 9 Grad unter die Temperatur der Luft sinkt. Im Inneren der Wälder ist die Luft beständig kühl, weil die dichte Laubdecke auf dieselbe Weise abkühlend wirkt wie eine Grasdecke, und weil die an den Gipfeln der Bäume abgekühlte Luft sich niedersenkt.

Wegen des unvollkommenen Wärmeleitungsvermögens kann die Wärme der obersten Bodenschichten nur nach und nach in das Innere eindringen; wenn die Oberfläche aber erkaltet, so verlieren die tieferen Bodenschichten weniger schnell ihre Wärme; schon in geringer Tiefe werden deshalb die Temperaturschwankungen unbedeutender sein, als an der Oberfläche selbst. In Deutschland verschwinden bei einer Tiefe von 6

Decimetern die täglichen Temperaturschwankungen, und in einer Tiefe von 24 Metern verschwinden sogar die jährlichen Variationen, so dass hier beständig eine Temperatur herrscht, welche nur wenig von der mittleren Temperatur des Ortes abweicht.

Obgleich alle Wärme auf der Oberfläche der Erde nur von der Sonne kommt, so hat doch die Erde auch ihre eigenthümliche Wärme, wie aus der Temperaturzunahme folgt, welche man in grossen Tiefen beobachtet hat. Wenn die Wärme nach dem Mittelpunkte der Erde hin auch in grösserer Tiefe noch in dem Maasse zunimmt, welches uns diese Beobachtungen zeigen, so müsste schon in einer Tiefe von 10,000 Fuss die Temperatur des siedenden Wassers herrschen, im Mittelpunkte der Erde aber müssten alle Körper glühend sein und im geschmolzenen Zustande sich befinden. Dass wir von dieser ungeheuren Hitze im Inneren der Erde auf der Oberfläche nichts merken, lässt sich durch das schlechte Leitungsvermögen der erkalteten Erdkruste erklären, welche diesen glühenden Kern einschliesst.

Die meisten wasserreichen Quellen haben eine Temperatur, welche sich in den verschiedenen Jahreszeiten nur sehr wenig ändert; in unserer Hemisphäre erreichen sie meistens ihre höchste Temperatur im September, die niedrigste im März, die Differenz ihrer höchsten und ihrer niedrigsten Temperatur beträgt in der Regel nur 1 bis 2⁰.

Quellen, welche aus grösseren Tiefen kommen, haben eine weit höhere Temperatur, wie dies bei vielen Salzquellen und sonstigen Mineralquellen der Fall ist. Das Wasser mancher Quellen hat fast die Temperatur des Siedepunktes.

Abnahme der Temperatur in den höheren Luftregionen. 311

Die Erwärmung der Luft hat zwei Ursachen; zunächst absorbirt sie einen Theil der von der Sonne kommenden Wärmestrahlen; weil aber die Luft die Wärmestrahlen ungleich weniger absorbirt als die Erdoberfläche, so ist auch die Erwärmung der Luft durch die Absorption der Wärmestrahlen ungleich geringer als die Erwärmung des Bodens; den bedeutendsten Antheil ihrer Wärme erhält die Atmosphäre von unten her.

Wäre die Luft keine elastische Flüssigkeit, bliebe die Dichtigkeit der Atmosphäre für alle Höhen dieselbe, so würden die am Boden erwärmten Luftschichten bis an die Grenze der Atmosphäre steigen, die obersten Schichten des Luftmeeres, welches unsere Erde einhüllt, würden auch die wärmsten sein. Weil sich aber die warmen Luftschichten bei ihrem Aufsteigen ausdehnen, so wird bei dieser Ausdehnung Wärme gebunden, ihre Temperatur muss sinken, und so kommt es, dass die höheren Luftschichten kälter sind als die tieferen.

Dass eine solche Abnahme der Temperatur in den höheren Luftregionen wirklich stattfindet, davon überzeugt man sich, wenn man zu diesen höheren Regionen aufsteigt, mag man sich nun in einem Luftballon erheben oder den Gipfel hoher Berge besteigen.

In den Alpen entspricht im Durchschnitt eine Erhebung von 180 Metern einer Temperaturerniedrigung von 1°.

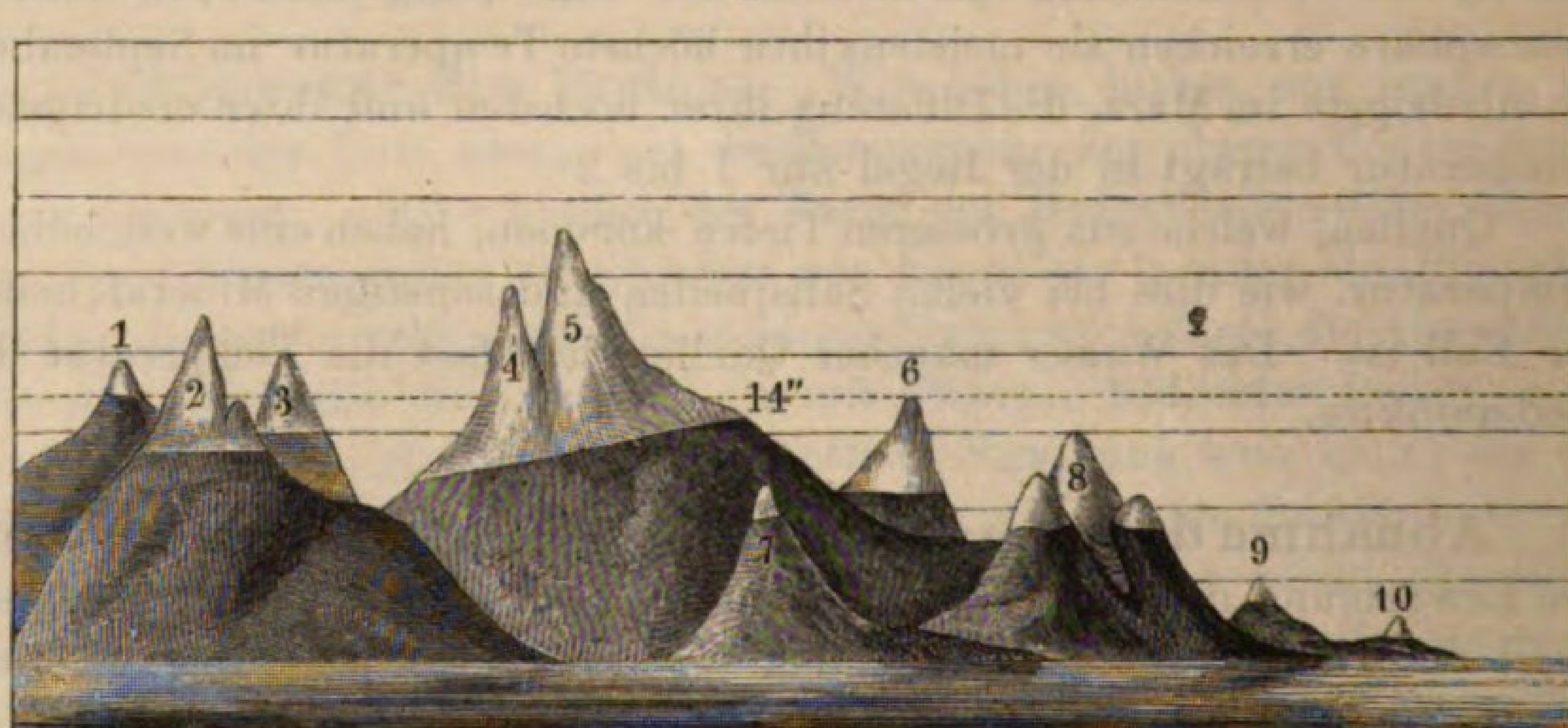
Eine Folge der mit der Höhe abnehmenden Temperatur ist, dass die Gipfel hoher Berge stets mit Schnee bedeckt sind.

Die Grenze des ewigen Schnees liegt natürlich um so höher, je mehr man sich der heissen Zone nähert. Die Höhe der Schneegrenze ist für

die Küste von Norwegen .	720	Meter
Island	936	"
Alpen	2708	"
Aetna	2905	"
Himalaya	4500	"
Mexiko	4500	"
Quito	4800	"

Fig. 755 stellt die Höhenverhältnisse der Schneegrenze in verschiedenen Gegenden dar, und zwar sind Nr. 1, 2 und 3 der Illimani, der

Fig. 755.



Aconcagua und der Chimborazzo in Südamerika; 4, 5 und 6 der Schamalari, der Dhawalagiri und der Kaukasus in Asien. Nr. 7 stellt die Pyrenäen und 8 die Alpen dar; Nr. 9 den Sulitelma in Norwegen und Nr. 10 die Insel Magerö.

Zweites Capitel.

Die Atmosphäre, ihr Druck und ihre Strömungen.

Die Lufthülle der Erde. Die feste zum Theil mit Wasser bedeckte Erdkugel ist mit einer gasförmigen Hülle umgeben, welche man mit dem Namen der Atmosphäre bezeichnet. Das Gasgemenge, aus welchem die Atmosphäre besteht, nennt man die Luft. 312

Die Hauptbestandtheile der atmosphärischen Luft sind Sauerstoffgas und Stickgas, deren Gemisch noch verhältnissmässig geringe Quantitäten von Kohlensäure und Wasserdampf beigemengt sind. In 100 Raumtheilen Luft sind 79 Raumtheile Stickgas und 21 Raumtheile Sauerstoffgas enthalten. Dieses Verhältniss ist fast ganz constant. Der Gehalt an Kohlensäure ist an und für sich sehr gering, unterliegt aber verhältnissmässig grösseren Schwankungen als Sauerstoff und Stickstoff, indem 10,000 Raumtheile Luft zwischen 3,3 und 5,3 Raumtheile Kohlensäure enthalten. Noch veränderlicher ist der Gehalt an Wasserdampf, wovon im folgenden Capitel ausführlicher gehandelt werden soll.

Die Luft ist, wie wir schon im ersten Bande gesehen haben, der Schwere eben so unterworfen, wie die festen und tropfbar-flüssigen Körper.

Die Lufttheilchen werden also von der Masse des Erdkörpers angezogen und dadurch auch verhindert, sich von der Erde aus in den Weltraum zu zerstreuen. Durch ihre Schwere wird die Atmosphäre zu einem integrirenden Theile der Erde, sie nimmt Theil sowohl an ihrer jährlichen wie an ihrer täglichen Bewegung.

Weil die Luft expansibel ist und das Volumen, welches eine gegebene Luftmenge einnimmt, von dem Drucke abhängt, welchem sie ausgesetzt ist, so ist klar, dass die Atmosphäre nicht überall gleiche Dichtigkeit haben kann, dass dieselbe vielmehr von unten nach oben fortwährend abnehmen muss.

Dass die tieferen Luftschichten wirklich einen stärkeren Druck auszuhalten haben, das beweisen uns die in verschiedenen Höhen angestellten Barometerbeobachtungen. Am Meeresufer ist die Höhe der Barometersäule im Mittel 760 Millimeter; sobald man sich aber über den Meeresspiegel erhebt, sinkt das Barometer um so mehr, je höher man steigt; zu Potosi, in einer Höhe von 13,220 Fuss, ist der mittlere Barometerstand nur noch 471 Millimeter (17,4 Zoll); in jener Höhe ist also der Luftdruck nur noch 0,62 von demjenigen, welcher am Ufer des Meeres stattfindet.

In Fig. 755 auf Seite 956 ist durch eine punktirte Linie die Höhe angedeutet, in welcher der Luftdruck nur noch halb so gross ist als am Spiegel des Meeres. Diese Linie streift den Gipfel des Kaukasus.

Da mit der Erhebung über dem Meeresspiegel der Luftdruck abnimmt und das Barometer sinkt, so kann das Barometer dienen, um Höhenmessungen auszuführen. Näheres über diesen Gegenstand in meiner kosmischen Physik.

Mit Hülfe der für barometrische Höhenmessungen construirten Formeln kann man berechnen, wie gross der Luftdruck einer jeden beliebigen Höhe über dem Meere ist; für eine Höhe von 160,000 Fuss oder 8 geographischen Meilen ergiebt sich auf diese Weise ein Luftdruck, welcher so gering ist, dass er nur noch einer Quecksilbersäule von 1^{mm} das Gleichgewicht halten kann; in jener Höhe ist also die Dichtigkeit der Luft nur noch $^1/_{760}$ von der auf der Oberfläche des Meeres beobachteten. In einer Höhe von 10 bis 12 geographischen Meilen ist demnach die Luft schon so verdünnt, dass ihr Druck selbst für die empfindlichsten physikalischen Instrumente kaum bemerkbar ist. Was von Luft über die Höhe von 10 bis 12 geographischen Meilen hinausgeht, ist jedenfalls ein verschwindend kleiner Bruchtheil der übrigen Atmosphäre, und deshalb nimmt man in der Regel an, dass die Atmosphäre eine Höhe von 10 bis 12 geographischen Meilen habe.

Eben weil die Luft expansibel ist, kann sie nicht eine scharfe obere Gränze haben wie die Gewässer, welche die Erdoberfläche bedecken. Es findet eben in den höheren Luftregionen ein allmäliger Uebergang zur unendlichen Verdünnung statt, und deshalb ist auch die Höhe der Atmosphäre keine absolut gegebene und präcis bestimmbare; man kann höchstens sagen, in welcher Höhe die Dichtigkeit der Luft unmerklich wird.

Nehmen wir in diesem Sinne die Höhe der Atmosphäre zu 10 bis 12 geographischen Meilen an, so sehen wir, dass diese Höhe sehr gering ist im Vergleich zum Durchmesser der Erde, welcher nahe 1700 geographische Meilen beträgt. Um sich ein klares Bild von dem Verhältniss der Erdkugel zu ihrer Atmosphäre zu machen, denke man sich eine Kugel von 1 Fuss Durchmesser, welche von einer nicht ganz 1 Linie dicken luftigen Hülle umgeben ist.

Aber weit unter der angegebenen Grenze verschwindet die letzte Spur des organischen Lebens, welches weder eine solche Luftverdünnung, noch eine so niedrige Temperatur ertragen kann, wie sie in jenen Höhen

herrscht, und welches schwerlich bis auf die Gipfel der höchsten Berge hinaufsteigt.

Variationen des Barometerstandes. Wir haben schon im 313
I. Bande gesehen, dass der Luftdruck durch das Barometer gemessen wird. Nun aber beobachtet man beständige Schwankungen an diesem Instrumente, was eine abwechselnde Ab- und Zunahme des Luftdruckes andeutet.

Die Variationen des Barometers sind theils periodische, theils zufällige.

Die periodischen Schwankungen treten in den Tropen sehr entschieden auf; das Barometer fällt von 10 Uhr Morgens bis 4 Uhr Nachmittags, steigt dann bis 11 Uhr Nachts, fällt wieder bis 4 Uhr Morgens und steigt abermals bis 10 Uhr Morgens. Der Barometerstand zeigt also zwei tägliche Maxima um 10 Uhr Morgens und um 11 Uhr Nachts, und zwei Minima um 4 Uhr Morgens und um 4 Uhr Abends.

Die Grösse der täglichen Schwankungen beträgt in den Tropen ungefähr 2 Millimeter.

Auch eine jährliche Periode der Barometerschwankungen zeigt sich in den Tropen ganz entschieden. Das Barometer sinkt nördlich vom Aequator vom Januar bis zum Juli und steigt dann wieder vom Juli bis zum Januar. Im Juli ist der mittlere Barometerstand 2 bis 4 Millimeter niedriger als im Januar.

In höheren Breiten sind die zufälligen Schwankungen des Barometers so bedeutend, dass durch sie die hier sehr geringen periodischen Schwankungen ganz maskirt werden. Um entscheiden zu können, ob mitten in den beständig stattfindenden zufälligen Schwankungen des Barometers sich nicht auch ein periodisches Steigen und Fallen geltend mache, muss man die Mittelzahlen einer grossen Reihe von Barometerbeobachtungen mit einander vergleichen, welche regelmässig zu bestimmten Stunden des Tages angestellt worden sind. Man muss mindestens Monate lang das Barometer an mehreren bestimmten Stunden des Tages beobachten und das Mittel aus allen zu derselben Stunde gemachten Beobachtungen nehmen, um die Existenz einer täglichen Periode der Barometerschwankungen auch für unsere Gegenden zu beweisen.

Solche Beobachtungen haben nun gezeigt, dass allerdings auch bei uns periodische Schwankungen stattfinden. Um 9 Uhr Morgens steht in unseren Gegenden das Barometer im Durchschnitt um 0,7 Millimeter höher als um 2 Uhr Nachmittags; auch ist der mittlere Barometerstand des Sommers etwas niedriger als der des Winters.

Ursachen der Barometerschwankungen. Die Ursache aller 314
Barometerschwankungen ist in der ungleichen und stets sich ändernden Wärmevertheilung auf der Erde zu suchen. Da sich die Wärmevertheilung auf der Erde beständig ändert, so wird auch das Gleichgewicht in jedem

Augenblicke gestört; es entstehen Luftströmungen, welche das gestörte Gleichgewicht wieder herzustellen streben, und so ist denn die Luft in beständiger Bewegung, bald mehr erwärmt und deshalb leichter, bald wieder erkaltet und deshalb dichter; bald mehr, bald weniger Wasserdampf enthaltend, wird auch der Druck der Luftsäule fortwährenden Veränderungen unterworfen sein, welche uns das Barometer anzeigt.

Dass wirklich Temperaturveränderungen die Ursache der Barometerschwankungen sind, geht schon daraus hervor, dass sie in den Tropen, wo die Temperatur so wenig veränderlich ist, auch am unbedeutendsten sind, in höheren Breiten dagegen, wo die Variationen der Temperatur immer bedeutender werden, da ist auch die Amplitude der zufälligen Barometerschwankungen sehr gross, ja selbst im Sommer, wo die Temperatur im Allgemeinen weniger veränderlich ist, sind die Oscillationen des Barometers kleiner als im Winter.

Obgleich man im Allgemeinen nachweisen kann, dass die ungleiche und stets sich ändernde Erwärmung der Luft beständige Veränderungen in der Grösse des Luftdrucks zur Folge haben muss, so sind wir doch noch weit davon entfernt, in allen einzelnen Fällen den Zusammenhang genügend nachweisen zu können.

Wenn an irgend einem Orte die Luft bedeutend erwärmt wird, so dehnt sie sich aus, die Luftsäule erhebt sich über die Luftmasse, welche auf den kälteren Umgebungen ruht, die in die Höhe gestiegene Luft wird also oben nach den Seiten hin abfliessen, der Druck der Luft muss also an dem wärmeren Orte abnehmen, das Barometer wird daselbst sinken müssen; in den kälteren Umgebungen aber muss das Barometer steigen, weil sich in den oberen Regionen der erwärmten Gegenden seitwärts abfliessende Luft über die Atmosphäre der kälteren Gegenden verbreitet.

Dadurch erklärt sich auch, warum in unseren Gegenden im Durchschnitte bei Südwestwinden das Barometer am tiefsten, bei Nordostwinden am höchsten steht; die Südwestwinde bringen uns warme Luft, während uns die Nordostwinde kältere Luft zuführen; da wo ein warmer Luftstrom weht, müsste die Atmosphäre eine grössere Höhe haben als da, wo der kalte Wind weht, wenn der Druck der ganzen Luftsäule an beiden Orten derselbe sein sollte; wäre dies aber auch wirklich der Fall, so würde die Luft des warmen Stromes oben abfliessen, das Barometer also unter dem warmen Luftstrome sinken, unter dem kalten dagegen steigen.

In Europa sind im Durchschnitte die Südwestwinde auch die Regenwinde, weil sie, von wärmeren Meeren kommend, mit Wasserdampf gesättigt sind, welcher sich nach und nach verdichtet und als Regen niederfällt, wenn der Wind zu immer kälteren Gegenden gelangt. In dieser Condensation des Wasserdampfes ist ein zweiter Grund zu suchen, warum das Barometer bei Südwestwinden niedrig steht. So lange nämlich der Wasserdampf als förmliches Gas einen Bestandtheil der Atmosphäre ausmacht, ist ihm ein Theil des atmosphärischen Druckes zuzuschreiben, ein Theil der Quecksilbersäule im Barometer wird durch den Wasserdampf

getragen; das Barometer muss also sinken, wenn der Wasserdampf aus der Atmosphäre durch Verdichtung ausgeschieden wird.

Da die Südwinde, welche in unseren Gegenden ein Sinken des Barometers bewirken, uns auch eine feuchte Luft zuführen und regnerisches Wetter bringen, während das Barometer steigt, wenn Nordostwinde wehen, welche die Luft trocken und den Himmel heiter machen, so kann man allerdings sagen, dass im Allgemeinen ein hoher Barometerstand schönes Wetter, ein tiefer aber schlechtes Wetter anzeigt. Dies ist aber, wie gesagt, nur eine Durchschnittsregel, denn bei Nordostwind ist der Himmel auch öfters bewölkt, bei Südwestwind auch manchmal heiter; sie ist jedoch in derselben Ausdehnung wahr wie die, dass bei Nordostwind das Barometer hoch, bei Südwestwind dagegen tief steht; dies ist auch nicht immer, sondern nur im Durchschnitte wahr. Wir können uns von solchen Anomalien nicht immer genügende Rechenschaft geben, weil uns nicht alle Elemente bekannt sind, welche den Gleichgewichtszustand der Atmosphäre bedingen.

Dass ein hoher Barometerstand im Allgemeinen heiteres Wetter, ein tiefer aber trübes Wetter anzeigt, ist auch nur für solche Orte wahr, an welchen die warmen Winde zugleich die Regen bringenden sind. An dem Ausflusse des La Plata-Stromes z. B. sind die kalten Südostwinde, welche vom Meere her wehen und das Barometer steigen machen zugleich die Regenwinde; die warmen Nordwestwinde aber, bei welchen das Barometer sinkt, sind trockene Landwinde und bringen heiteres Wetter. Dem Umstande, dass dort der Regen durch kalte Winde gebracht wird, ist die geringere Regenmenge dieser Gegenden zuzuschreiben, während unter gleicher Breite an den Westküsten von Südamerika sehr viel Regen fällt, indem hier der warme Nordwestwind zugleich ein Seewind ist.

Entstehung der Winde. Wenn man die Thür zwischen einem warmen und einem kalten Zimmer ein wenig öffnet, Fig. 756, so strömt 315

Fig. 756.



durch die Spalte oben warme Luft aus dem warmen in das kalte Zimmer, während unten kalte Luft in das geheizte Zimmer einströmt, wie man leicht mit Hülfe einer Kerzenflamme nachweisen kann. Auch im Grossen sieht man die Luft in den stärker erwärmten Gegenden aufsteigen und in der Höhe nach den kälteren abfliessen, während unten die Luft von den kälteren Gegenden den wärmeren zuströmt.

Ein einfaches Beispiel geben uns die Land- und Seewinde, welche man häufig an den Meeresküsten, namentlich aber auf den Inseln wahrnimmt. Einige Stunden nach Sonnenaufgang erhebt sich ein von dem Meere nach der Küste gerichteter

Wind, der Seewind, weil das feste Land unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen stärker erwärmt wird als das Meer; über dem Lande steigt die Luft in die Höhe und fliesst oben nach dem Meere hin ab, während unten die Luft vom Meere gegen die Küsten strömt. Dieser Seewind ist anfangs schwach und nur an den Küsten selbst fühlbar, später nimmt er zu und zeigt sich dann auch auf dem Meere schon in grösserer Entfernung von der Küste; zwischen 2 und 3 Uhr Nachmittags wird er am stärksten, nimmt dann wieder ab, und gegen Untergang der Sonne tritt eine Windstille ein. Nun erkaltet Land und Meer durch die Wärmestrahlung gegen den Himmelsraum, das Land erkaltet aber rascher als das Meer, und nun strömt die Luft in den unteren Regionen vom Lande nach dem Meere, während in den oberen Luftregionen eine entgegengesetzte Strömung stattfindet.

Zu den Ursachen, welche Luftströmungen, ja die heftigsten Stürme erzeugen können, ist auch eine schnelle Condensation des atmosphärischen Wasserdampfes zu zählen. Wenn man bedenkt, welch eine ungeheure Wassermasse während eines Platzregens in wenigen Minuten zur Erde fällt, welch ungeheures Volumen dieses Wasser eingenommen haben muss, als es noch in Dampfgestalt in der Atmosphäre schwebte, so ist klar, dass durch die rasche Condensation dieser Wasserdämpfe eine bedeutende Luftverdünnung bewirkt wird, und dass die Luft von allen Seiten her mit Gewalt in den verdünnten Raum eindringen muss, um so mehr, als da, wo die Condensation der Wasserdämpfe stattfindet, die Temperatur der Luft durch die freiwerdende Wärme erhöht und dadurch ein kräftig aufsteigender Luftstrom erzeugt wird.

Oft sieht man die Wolken in anderer Richtung ziehen, als die ist, welche die Windfahnen zeigen, und oft ziehen die höheren Wolken in anderer Richtung als die tiefer schwebenden, woraus hervorgeht, dass in verschiedenen Höhen Luftströmungen nach verschiedener Richtung stattfinden.

316 **Passatwinde und Moussons.** Als Columbus auf seiner Entdeckungsreise nach Amerika seine Schiffe durch einen beständigen Ostwind fortgetrieben sah, wurden seine Gefährten mit Schrecken erfüllt, weil sie fürchteten, nimmer nach Europa zurückkehren zu können. Dieser in den Tropen beständig von Osten nach Westen wehende Wind, welcher so sehr das Erstaunen der Seefahrer des 15. Jahrhunderts erregte, ist der Passatwind. Die Schiffer benutzen diesen Wind, um von Europa nach Amerika zu segeln, indem sie von Madeira aus südlich bis in die Nähe des Wendekreises steuern, wo sie dann durch den Passat nach Westen getrieben werden.

Im Atlantischen Ocean erstreckt sich der Passatwind bis zum 29., im grossen Ocean nur bis zum 25. Grade nördlicher Breite. In der nördlichen Hälfte der heissen Zone ist die Richtung des Passatwindes eine nordöstliche; je mehr er sich aber dem Aequator nähert, desto mehr wird seine Richtung rein östlich. Die Gränze des Passats ist in der süd-

lichen Halbkugel weniger genau bestimmt, dort aber hat der Passat eine südöstliche Richtung, die mehr und mehr östlich wird, je mehr er gegen den Aequator vordringt.



Fig. 757.

Diese Winde wehen rund um die ganze Erde, doch sind sie in der Regel erst 50 Meilen weit vom festen Lande entschieden merklich.

Da, wo der Nordostpassat der nördlichen und der Südostpassat der südlichen Hemisphäre zusammentreffen, combiniren sie sich zu einem rein

östlichen Winde, der aber unmerklich wird, weil die horizontale Bewegung der durch die Intensität der Sonnenstrahlen stark erwärmten und deshalb mächtig aufsteigenden Luft eben durch die verticale Bewegung neutralisirt wird. Es würde in diesen Gegenden eine fast vollkommene Windstille herrschen, wenn nicht die heftigen Stürme, welche die fast täglich unter Donner und Blitz stattfindenden Regengüsse begleiten, die Ruhe der Atmosphäre störten und das Wehen sanfter regelmässiger Winde unmöglich machten.

Diese Zone, welche die Passatwinde der beiden Hemisphären trennt, ist die Region der Calmen.

Das Kärtchen, Fig. 757 a. v. S., dient dazu, die Gegenden zu zeigen, in welchen die Passatwinde herrschen. Die Mitte der Region der Calmen, welche im Durchschnitte eine Breite von 6^0 hat, fällt nicht, wie man wohl erwarten sollte, mit dem Aequator zusammen, sondern sie liegt nördlich von demselben. Während unserer Sommermonate ist der Gürtel der Calmen breiter, und seine nördliche Gränze entfernt sich mehr vom Aequator, während die südliche Gränze sich nur wenig ändert.

Die Ursache davon, dass die Region der Calmen auf der nördlichen Hemisphäre liegt, ist wohl in der Configuration der Continente zu suchen.

Die Passatwinde lassen sich leicht erklären. Die Luft, welche in den Aequatorialgegenden stark erwärmt in die Höhe steigt, erhebt sich über die kälteren Luftmassen zu beiden Seiten und strömt oben nach den Polen hin ab, während unten die Luft von den Polen her dem Aequator zufliesst. Wenn die Erde keine Axendrehung hätte, so würde der Passatwind auf der nördlichen Halbkugel gerade von Norden nach Süden, auf der südlichen Hemisphäre aber in entgegengesetzter Richtung wehen. Nun aber dreht sich die Erde von Westen nach Osten, und das Luftmeer, welches sie umgiebt, theilt diese Rotationsbewegung.

Je näher ein Ort der Erdoberfläche den Polen liegt, desto langsamer wird er sich in dem während 24 Stunden zu beschreibenden Kreise fortbewegen, weil dieser Kreis um so kleiner ist, je weiter man sich vom Aequator entfernt. Demnach ist auch die Rotationsgeschwindigkeit der über der Erde ruhenden Luftmasse in der Nähe der Pole geringer als am Aequator; wenn nun eine Luftmasse aus höheren Breiten dem Aequator zugeführt wird, so langt sie mit geringerer Rotationsgeschwindigkeit über Ländern an, welche sich schneller von Westen nach Osten bewegen; in Beziehung auf diesen unter ihr sich fortbewegenden Boden hat sie also eine Bewegung von Osten nach Westen. Diese Bewegung combinirt sich mit der gegen den Aequator hin fortschreitenden Bewegung auf der nördlichen Halbkugel zu einem Nord-, auf der südlichen aber zu einem Südostwinde.

Die in den Aequatorialgegenden aufsteigende Luft fliesst in der Höhe nach beiden Seiten hin ab, um sich nach den Polen hin zu ergiessen. Die Richtung dieses oberen Passates ist natürlich der des unteren gerade entgegengesetzt, sie ist in der nördlichen Halbkugel eine südwestliche, in der südlichen Halbkugel eine nordwestliche.

Dass in den oberen Luftregionen wirklich ein Passat weht, welcher dem unteren entgegengesetzt ist, lässt sich durch Thatsachen beweisen; so wurde z. B. am 25. Februar 1835 bei einem Ausbruche des Vulcans von Cosiguina im Staate Guatimala die Asche bis in die Höhe des oberen Passats geschleudert, der sie in südwestlicher Richtung fortführte, so dass sie auf der Insel Jamaica niederfiel, obgleich in den unteren Regionen der Nordostpassat herrschte.

In grösserer Entfernung vom Aequator senkt sich der obere Passat mehr und mehr gegen die Erdoberfläche. Auf dem Gipfel des Piks von Teneriffa herrschen fast immer Westwinde, während am Meeresspiegel der untere Passat weht.

Im indischen Ocean ist die Regelmässigkeit der Passatwinde durch die Configuration der Ländermassen, welche dieses Meer umgeben, namentlich aber durch den asiatischen Continent, gestört. Im südlichen Theile des indischen Oceans, zwischen Neuholland und Madagaskar, herrscht noch das ganze Jahr hindurch der Südostpassat, in dem nördlichen Theile dieses Meeres aber weht während der einen Hälfte des Jahres ein beständiger Südwest-, während der anderen Hälfte des Jahres ein beständiger Nordostwind. Diese regelmässig abwechselnden Winde werden Moussons genannt.

Der Südwestwind weht vom April bis zum October, während der übrigen Monate des Jahres weht der Nordostwind.

Während in den Wintermonaten der asiatische Continent erkaltet, die Sonne aber in südlicheren Gegenden eine grössere Wärme erzeugt, muss natürlich ein Nordostpassat von dem kälteren Asien nach den heisseren Gegenden wehen. In dieser Zeit ist auch im indischen Ocean der Nordostpassat von dem Südostpassate durch die Region der Calmen getrennt.

Während unseres Sommers wird das Wehen des Südostpassates zwischen Neuholland und Madagascar nicht gestört, in den nördlichen Theilen des indischen Oceans aber, in welchen im Winter ein Nordostwind geherrscht hatte, wird dieser in einen Südwestwind verwandelt, weil sich nun der asiatische Continent sehr stark erwärmt, und also eine Luftströmung nach Norden hin veranlasst, welche durch die Rotation der Erde in einen Südwestwind verwandelt wird.

Winde in höheren Breiten. Der obere Passat, welcher die 317
Luft von den Aequatorialgegenden zurückführt, senkt sich, wie schon erwähnt wurde, immer mehr und erreicht endlich als Südwestwind den Boden; ausserhalb der Region der Passatwinde gehen daher die beiden Luftströmungen, welche die Luft von den Polen zum Aequator und vom Aequator zurück nach den Polen führen, nicht mehr über einander, sondern neben einander her, sie streben einander gegenseitig zu verdrängen, bald erlangt der Südwest, bald der Nordost die Oberhand, und bei dem Uebergange aus einer dieser Windrichtungen in eine andere sehen wir die Zwischenwinde nach allen Richtungen der Windrose wehen.

Obgleich auch in höheren Breiten Südwest und Nordost die herrschenden Winde sind, so findet zwischen ihnen doch keine so regelmässige periodische Abwechselung statt wie bei den Moussons im indischen Oceane.

Die folgende Tabelle giebt die Häufigkeit der Winde in verschiedenen Ländern an; sie giebt nämlich an, wie oft im Durchschnitte unter je 1000 Tagen ein jeder der acht Hauptwinde weht.

Länder.	N.	N.-O.	O.	S.-O.	S.	S.-W.	W.	N.-W.
England	82	111	99	81	111	225	171	120
Frankreich . . .	126	140	84	76	117	192	155	110
Deutschland . . .	84	98	119	87	97	185	198	131
Dänemark	65	98	100	129	92	198	161	156
Schweden	102	104	80	110	128	210	159	106
Russland	99	191	81	130	98	143	166	192
Nordamerika . . .	96	116	49	108	123	197	101	210

318 **Gesetz der Winddrehung.** Obgleich bei einer oberflächlichen Betrachtung in unseren Gegenden die Aenderungen in der Windrichtung ganz regellos zu sein scheinen, so haben doch aufmerksamere Beobachter schon lange die Bemerkung gemacht, dass die Winde in der Regel in folgender Ordnung auf einander folgen:

$$S, SW, W, NW, N, NO, O, SO, S.$$

Am regelmässigsten lässt sich diese Drehung des Windes während des Winters beobachten; die mit diesen Umständen zusammenhängenden Veränderungen des Barometers und des Thermometers hat Dove sehr schön mit folgenden Worten geschildert:

„Wenn der Südwest, immer heftiger wehend, endlich vollkommen durchgedrungen ist, erhöht er die Temperatur über den Gefrierpunkt, es kann daher nicht mehr schneien, sondern es regnet, während das Barometer seinen niedrigsten Stand erreicht. Nun dreht sich der Wind nach West, und der dichte Flockenschnee beweist ebenso gut den einfallenden kälteren Wind als das rasch steigende Barometer, die Windfahne und das Thermometer. Mit Nord heitert der Himmel sich auf, mit Nordost tritt das Maximum der Kälte und des Barometers ein. Aber allmälig beginnt dieses zu fallen, und feine Cirri zeigen durch die Richtung ihres Entstehens den oben eingetretenen südlicheren Wind, den das Barometer schon bemerkt, wenn auch die Windfahne nichts davon weiss und noch ruhig Ost zeigt. Doch immer bestimmter verdrängt der südliche Wind den Ost von oben herab, bei entschiedenem Fallen des Quecksilbers wird die Windfahne *SO*, der Himmel bezieht sich allmälig immer mehr, und mit

steigender Wärme verwandelt sich der bei *SO* und *S* fallende Schnee bei *SW* wieder in Regen. Nun geht es von Neuem an, und höchst charakteristisch ist der Niederschlag auf der Ostseite von dem auf der Westseite gewöhnlich durch eine kurze Aufhellung getrennt."

Nicht immer lässt sich die Drehung des Windes so rein beobachten, wie es eben angeführt wurde, indem häufig ein Zurückspringen des Windes stattfindet; ein solches Zurückspringen wird aber weit häufiger auf der Westseite der Windrose beobachtet als auf der Ostseite. Eine vollständige Umdrehung des Windes in entgegengesetzter Richtung, nämlich von *S* nach *O*, *N*, *W*, wird in Europa höchst selten beobachtet.

Die Erklärung dieses Gesetzes ergiebt sich durch die Verallgemeinerung der Erklärung der Passatwinde.

Wird die Luft durch irgend eine Ursache von den Polen nach dem Aequator getrieben, so kommt sie von Orten, deren Rotationsgeschwindigkeit geringer ist, an andere Orte, welche eine grössere Rotationsgeschwindigkeit besitzen; ihre Bewegung erhält dadurch eine östliche Richtung, wie wir schon beim Passatwinde gesehen haben. Auf der nördlichen Halbkugel gehen deshalb die Winde, welche als Nordwinde entstehen, bei ihrem allmäligen Fortrücken durch *NO* in *O* über. Ist auf diese Weise ein Ostwind entstanden, so wird dieser, wenn die Ursache fortdauert, welche die Luft nach dem Aequator hintreibt, hemmend auf den Polarstrom wirken, die Luft wird die Rotationsgeschwindigkeit des Ortes annehmen, über welchem sie sich befindet, und wenn nun die Tendenz, nach dem Aequator zu strömen, immer noch fortdauert, so springt der Wind nach Norden zurück, und dieselbe Reihe von Erscheinungen wiederholt sich.

Wenn aber, nachdem die Polarströme eine Zeitlang geherrscht haben und die Windrichtung östlich geworden ist, Aequatorialströme eintreten, so wird der Ostwind durch Südost nach Süd umschlagen. Wenn die Luft von Süden nach Norden fortströmt, so gelangt sie mit der grösseren Rotationsgeschwindigkeit derjenigen Parallelkreise, welche dem Aequator näher liegen, an Orte, welche eine geringere Rotationsgeschwindigkeit haben; sie wird also der von Westen nach Osten rotirenden Erdoberfläche mit noch grösserer Rotationsgeschwindigkeit gleichsam voraneilen, die südliche Windrichtung wird allmälig südwestlich und dann ganz westlich werden müssen. Bei fortdauernder Tendenz der Luft, nach dem Pole zu strömen, wird der Wind alsbald wieder nach Süd zurückspringen, gerade so, wie der Ost nach Norden zurückspringt; wenn aber die Aequatorialströmung durch eine Polarströmung verdrängt wird, so schlägt der Westwind durch Nordwest nach Westen um.

Auf der südlichen Halbkugel muss der Wind in entgegengesetzter Richtung umschlagen.

Wo in den Tropen die Passatwinde wehen, giebt es an der Erdoberfläche selbst gar keine vollständige Drehung, die Richtung des Passates wird nur bei seinem Vordringen immer mehr östlich.

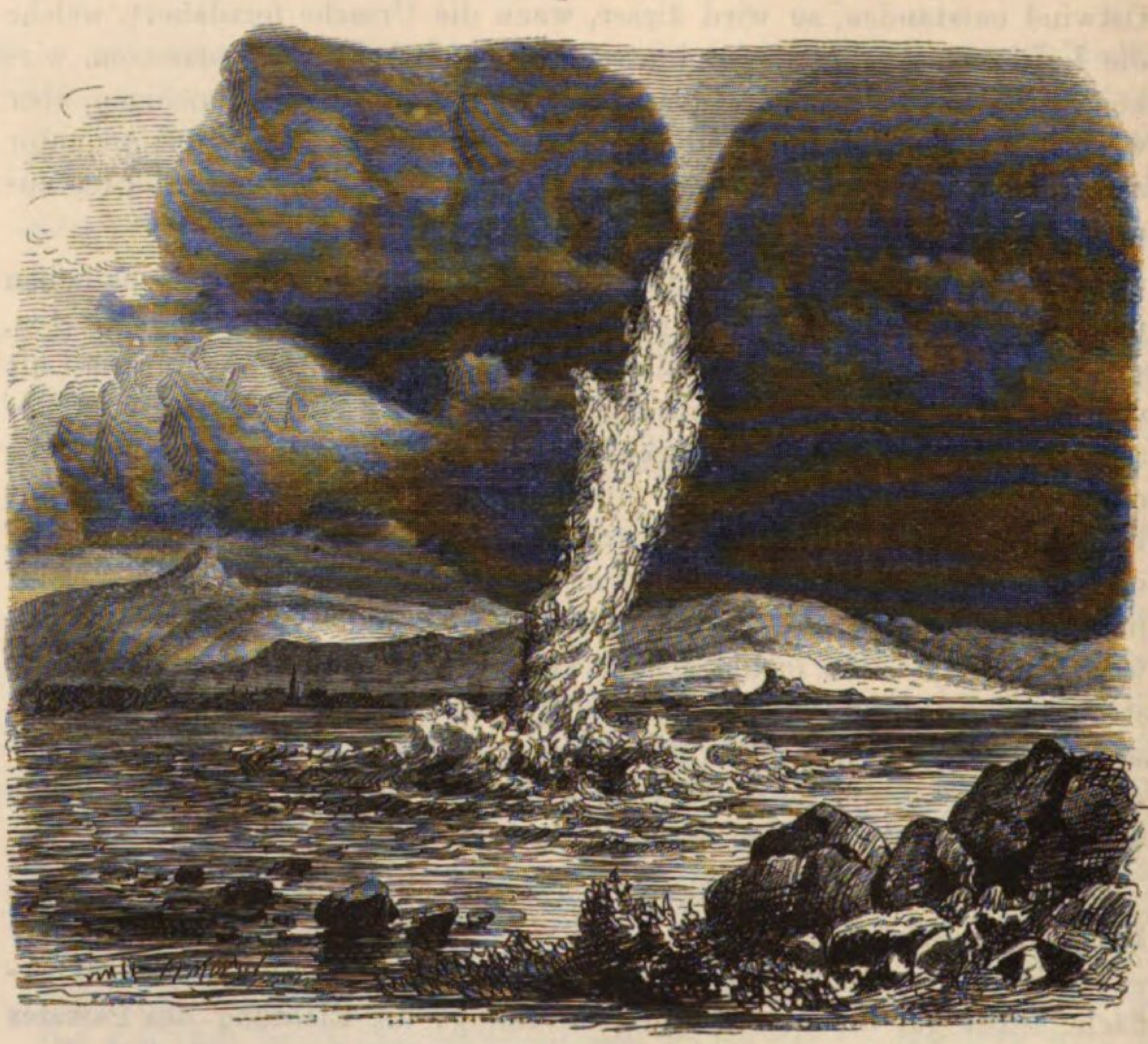
In der Region der Moussons findet im Laufe eines ganzen Jahres nur eine einzige Drehung statt. Man sieht also, dass die Windverhältnisse der Tropen der einfachste Fall des Drehungsgesetzes sind.

319 **Stürme.** Die Stürme sind Folgen einer bedeutenden Störung im Gleichgewichte der Atmosphäre, und höchst wahrscheinlich rührt die Störung von einer raschen Condensation der Wasserdämpfe her, wie dies schon oben angedeutet wurde.

Neuere Untersuchungen haben gezeigt, dass die Stürme meistens als grosse fortschreitende Wirbel zu betrachten sind.

In den Tropen wüthen die Stürme ungleich heftiger als in höheren Breiten; die Zerstörungen der Orkane, welche man in Amerika mit dem Namen der Tornados bezeichnet, sind wahrhaft fürchterlich. So wurden z. B. durch den Sturm, welcher am 26. Juli 1825 Guadeloupe verwüstete, solid gebaute Häuser umgerissen; Kanonen wurden bis zur Brüstung der Batterie, auf welcher sie standen, fortgeschleudert, ein Brett von ungefähr 3 Fuss Länge, 8 Zoll Breite und 10 Linien Dicke wurde mit solcher Geschwindigkeit durch die Luft gejagt, dass es den Stamm eines Palm-

Fig. 758.



baumes, welcher ungefähr 17 Zoll im Durchmesser hatte, durch und durchbohrte.

Oft sieht man bei ruhigem Wetter, wie Sand und Staub durch den Wind in wirbelnder Bewegung fortgeführt werden. Bei herannahenden Gewittern sieht man schon grössere Luftwirbel der Art, welche Staub, Blätter, Stroh u. s. w. mit in die Höhe nehmen. Die Tromben sind nichts Anderes als solche Wirbel in grösserem Maassstabe; sie werden in der Regel durch den Kampf zweier in den oberen Luftregionen in entgegengesetzter Richtung wehender Winde erzeugt. Sie bilden gewöhnlich einen Doppelkegel; der obere Theil desselben, dessen Spitze herabgesenkt ist, besteht aus einer Wolkenmasse, während der untere Kegel, dessen Spitze nach oben gerichtet ist, aus Wasser besteht, wenn das Meteor auf dem Meere oder über Seen und Flüssen sich bildet, oder aus Sand und sonstigen festen Körpern, wenn die Trombe über das Land hinzieht. Tromben sind im Stande, Bäume zu entwurzeln, Häuser abzudecken, Balken mehrere hundert Schritte weit fortzuschleudern u. s. w. Die Wassertromben sind unter dem Namen der Wasserhosen bekannt.

Fig. 758 stellt eine im Jahre 1858 in der Nähe von Königswinter auf dem Rheine beobachtete Wasserhose dar.

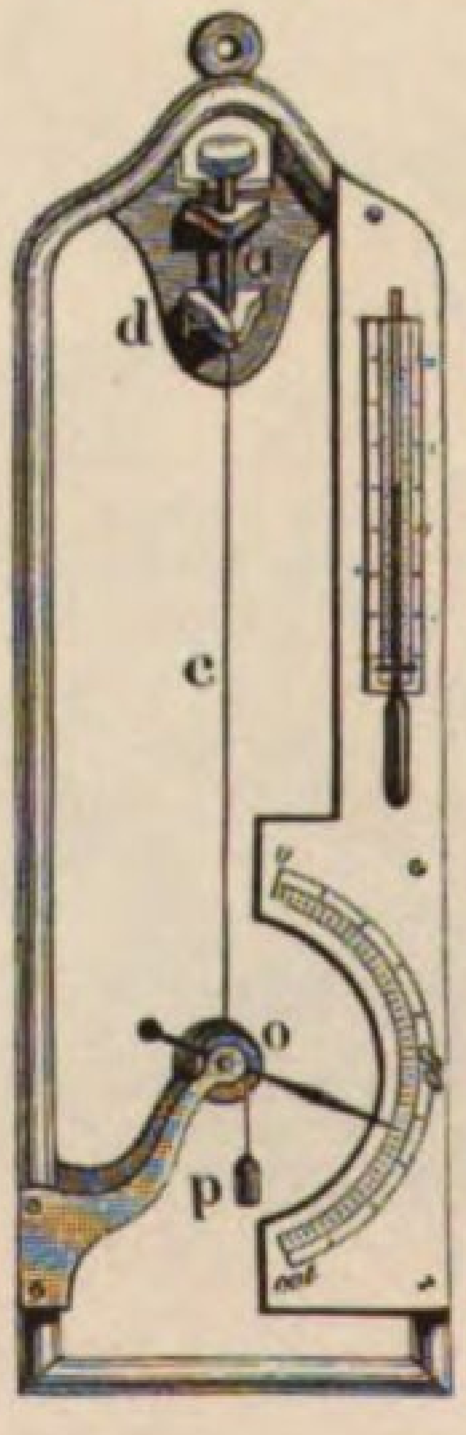
Drittes Capitel.

Von der atmosphärischen Feuchtigkeit.

320 **Verbreitung des Wasserdampfes in der Luft.** Wenn man an einem heissen Sommertage eine mit Wasser gefüllte Schale ins Freie stellt, so sieht man die Quantität des Wassers rasch abnehmen; es verdunstet, das heisst, es geht in Dampfgestalt über und verbreitet sich in der Luft. Der Wasserdampf ist wie jedes andere farblose durchsichtige Gas für unsere Blicke unsichtbar, das Wasser scheint, indem es verdunstet, gänzlich verschwunden zu sein.

Das in der Luft verbreitete Wasser wird erst wieder sichtbar, wenn es, in seinen flüssigen Zustand zurückkehrend, Nebel oder Wolken, Thau oder Reif bildet.

Fig. 759.



Um den Wassergehalt der Luft zu ermitteln, werden verschiedene Apparate angewandt, welche den Namen der Hygrometer führen. Das älteste unter denselben ist Saussure's Haarhygrometer, Fig. 759, welches sich darauf gründet, dass das menschliche Haar, wie manche andere organische Stoffe, Wasser aus der feuchten Luft anzieht.

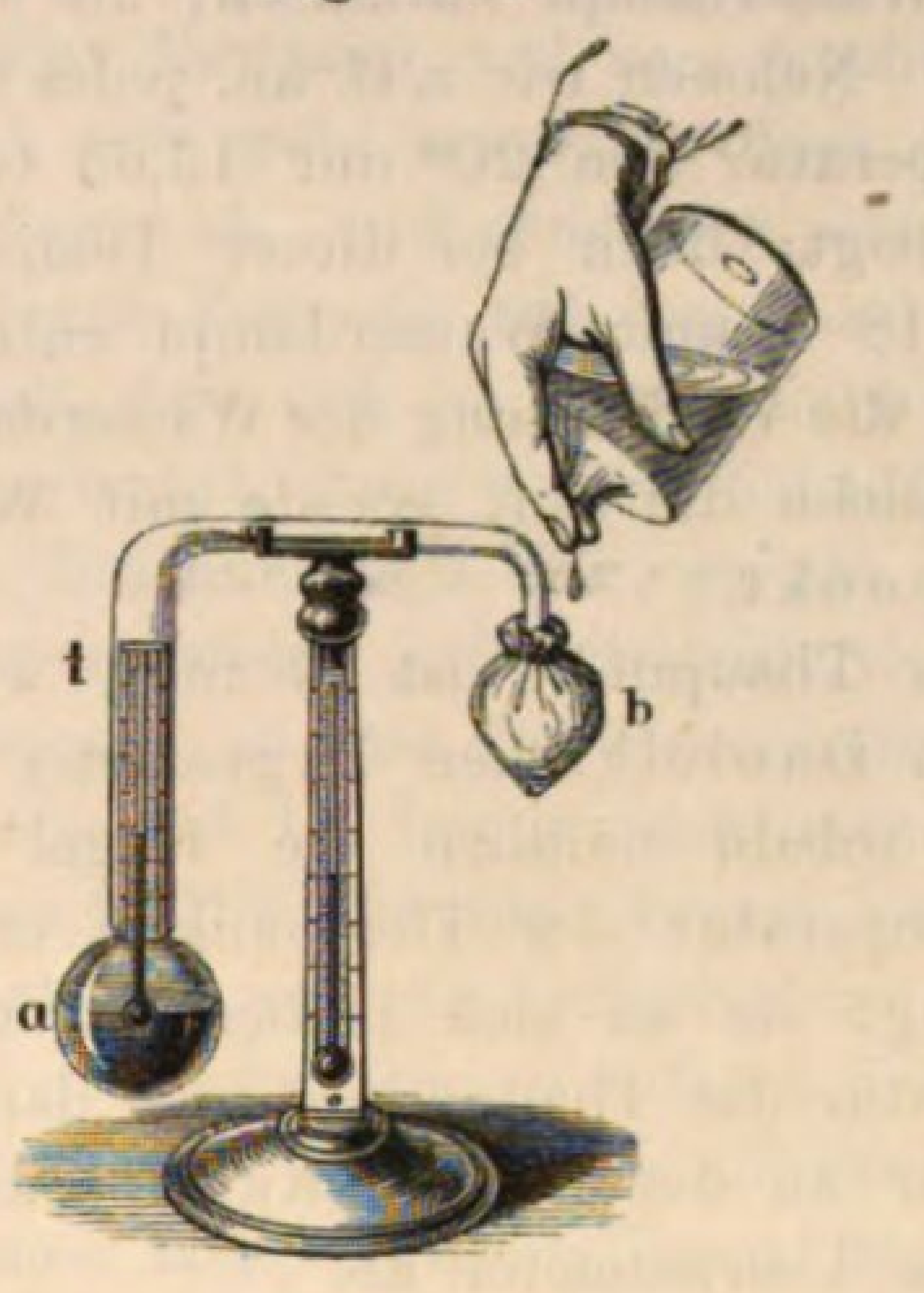
Das Haar ist mit seinem oberen Ende an einem Zängelchen *d* befestigt, das andere Ende aber ist um eine mit zwei Rinnen versehene Rolle geschlungen, während in der anderen Rinne um die Rolle ein Seidenfaden geschlungen ist, an welchem ein kleines Gewicht *p* hängt, durch welches das Haar beständig gespannt erhalten wird. An der Axe der Rolle ist ein Zeiger befestigt, welcher an einem Gradbogen hin- und hergeht, wenn die Rolle durch die Verlängerung oder Verkürzung des Haares gedreht wird.

Wenn sich das Instrument in feuchter Luft befindet, so absorbirt das Haar viel Wasserdampf und wird dadurch länger, in trockener Luft aber verkürzt es sich, wodurch natürlich der Zeiger bald nach der einen, bald nach der anderen Seite gedreht wird.

Derjenige Punkt der Scala, auf welchem sich der Zeiger einstellt, wenn sich das Instrument in vollkommen trockener Luft befindet, ist der Nullpunkt der Scala, derjenige Punkt dagegen, auf welchen der Zeiger in einer ganz mit Wasserdampf gesättigten Atmosphäre deutet, wird mit 100 bezeichnet und der Zwischenraum zwischen diesen beiden Punkten in hundert gleiche Theile getheilt.

Daniell's Hygrometer, Fig. 760, besteht aus einer gekrümmten Glasröhre, welche mit zwei Kugeln endigt; die eine, *a*, ist entweder vergoldet oder mit einer ganz dünnen glänzenden Platinschicht überzogen, die andere ist mit einem Läppchen feiner Leinwand umwickelt. Die Kugel *a* ist zur Hälfte mit Aether gefüllt und enthält ein kleines Thermometer, dessen Theilung in die Röhre *t* hineinragt. Der Apparat ist vollkommen luftleer. Wenn man nun Aether auf die Kugel *b* tröpfelt, so wird sie durch die Verdampfung des Aethers erkaltet, im Inneren derselben werden Aetherdämpfe condensirt und dadurch eine Verdampfung des Aethers in der Kugel *a* bewirkt, indem gewissermaassen der Aether aus der wärmeren Kugel *a* in die kältere *b* überdestillirt. Bei der Dampfbildung in der Kugel *a* wird aber ebenfalls Wärme gebunden und sie beschlägt sich endlich mit einem zarten Thau.

Fig. 760.



Die Entstehung dieses Thaues lässt sich leicht erklären. Wir haben schon oben gesehen, dass im leeren Raume die Spannkraft des Wasserdampfes für eine bestimmte Temperatur eine bestimmte Gränze nicht übersteigen kann, dass das Maximum der Spannkraft mit der Temperatur steigt. Für eine Temperatur von 20° z. B. ist das Maximum der Spannkraft des Wasserdampfes 17,3 Millimeter und die entsprechende Dichtigkeit des Wasserdampfes 0,00001718; in einem luftleeren Raume von 1 Cubikmeter können bei einer Temperatur von 20° höchstens 17,18 Gramm Wasser als Dampf enthalten sein.

Wir haben ferner gesehen, dass in einem lufterfüllten Raume gerade ebenso viel Wasserdampf enthalten sein kann als in einem gleich grossen luftleeren Raume, und dass sich in diesem Falle die Spannkraft der Luft und die Spannkraft des in ihr verbreiteten Wasserdampfes summiren.

Bei einer Temperatur von 20⁰ können also in einem Cubikmeter Luft ebenfalls 17,18 Gramm Wasser als Dampf enthalten sein.

Man sagt, die Luft sei mit Wasserdampf **gesättigt**, wenn der in ihr verbreitete Wasserdampf das ihrer Temperatur entsprechende Maximum der Spannkraft und Dichtigkeit erreicht hat.

Bringt man in eine mit Wasserdampf gesättigte Luft einen kälteren Körper, so wird dieser die nächsten Luftschichten erkalten, ein Theil des in ihnen enthaltenen Wasserdampfes wird sich verdichten müssen und setzt sich in Form von feinen Tröpfchen an den kalten Körper an. Auf diese Weise bildet sich der Beschlag an den Fensterscheiben in einem bewohnten erwärmten Zimmer, wenn die Temperatur der äusseren Luft niedrig genug ist, um die Fensterscheiben hinlänglich zu erkalten.

Nicht immer ist die Luft mit Feuchtigkeit gesättigt, d. h. es ist nicht immer in derselben gerade so viel Wasserdampf enthalten, als sie bei ihrer Temperatur aufnehmen könnte. Nehmen wir z. B. an, jedes Cubikmeter Luft enthielte bei einer Temperatur von 20⁰ nur 13,63 Gramm Wasserdampf, so ist sie nicht gesättigt; denn bei dieser Temperatur könnte ja jedes Cubikmeter Luft 17,18 Gramm Wasserdampf enthalten.

Die Temperatur, für welche eben die Verdichtung des Wasserdampfes beginnt, die Temperatur also, für welche die Luft gerade mit Wasserdampf gesättigt ist, heisst der **Thaupunkt**.

Fig. 761.



Der Thaupunkt ist es nun, welchen man am **Daniell'schen** Hygrometer beobachtet; sobald nämlich die Kugel *a* bis zur Temperatur des Thaupunktes erkaltet ist, fängt sie an sich zu beschlagen, die Temperatur des Thaues liest man dann unmittelbar an dem in die Kugel *a* hineinragenden Thermometer ab.

Wenn man nun eine Tabelle zur Hand nimmt, in welcher man das Maximum des Wassergehaltes in einem leeren Raume von 1 Cubikmeter für jeden einzelnen Temperaturgrad angegeben findet, so kann man in einer solchen Tabelle sogleich finden, welches der dem beobachteten Thaupunkt entsprechende Wassergehalt der Luft ist.

August's Psychrometer, Fig. 761, besteht aus zwei an einem und demselben Gestelle befestigten Thermometern; die Kugel des einen ist mit einem feinen Leinwandläppchen umgeben, während die Kugel des anderen frei bleibt; wenn man die Hülle der einen Thermometerkugel mit Wasser befeuchtet, so wird das Wasser ver-

dunsten, und zwar wird die Verdunstung um so rascher vor sich gehen, je weiter die Luft von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist. Die Verdunstung des Wassers ist aber von einer Wärmebindung begleitet, in Folge deren das umwickelte Thermometer sinkt. Wenn die Luft vollkommen mit Feuchtigkeit gesättigt ist, so wird kein Wasser verdampfen können, die beiden Thermometer stehen alsdann gleich hoch; ist aber die Luft nicht mit Wasserdampf gesättigt, so wird das umwickelte Thermometer sinken, und zwar um so tiefer, je weiter die Luft von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist. Aus der Temperaturdifferenz der beiden Thermometer kann man auf den Feuchtigkeitszustand der Luft schliessen.

Tägliche und jährliche Variationen im Wassergehalte der Luft. 321
Da bei hoher Temperatur mehr Wasserdampf in der Luft verbreitet sein kann, da mit steigender Wärme das Wasser an der Oberfläche der Gewässer und vom feuchten Boden mehr und mehr verdunstet, so lässt sich wohl erwarten, dass der Wassergehalt der Luft im Laufe eines Tages ab- und zunehmen wird.

Durch Versuche mit den oben beschriebenen Instrumenten hat man ermittelt, dass sich im Allgemeinen die Menge des Wasserdampfes in der Luft vermehrt, wenn von Sonnenaufgang an die Temperatur steigt; jedoch dauert dies nur bis 9 Uhr, wo ein durch die starke Erwärmung des Bodens veranlasster aufwärtssteigender Luftstrom die Dämpfe mit in die Höhe nimmt, so dass der Wassergehalt der unteren Luftschichten geringer wird, obgleich bei immer zunehmender Wärme die Bildung der Dämpfe fortdauert. Die Abnahme dauert bis gegen 4 Uhr; jetzt nimmt der Wassergehalt der unteren Luftschichten wieder zu, weil nun die nach oben gerichtete Luftströmung aufhört den sich bildenden Wasserdampf wegzuführen; jedoch dauert diese Zunahme bis gegen 9 Uhr Abends, weil nun die immer mehr sinkende Temperatur der Luft der ferneren Dampfbildung eine Gränze setzt.

Im Winter, wo die Wirkung der Sonne weniger intensiv ist, verhält sich die Sache anders; im Januar beobachtet man nur ein Maximum des Wassergehaltes der Luft um 2 Uhr Nachmittags und ein Minimum zur Zeit des Sonnenaufganges.

Wir sagen: „die Luft ist trocken,“ wenn das Wasser rasch verdunstet und wenn befeuchtete Gegenstände durch dieses rasche Verdunsten schnell trocken werden; dagegen sagen wir: „die Luft ist feucht,“ wenn befeuchtete Gegenstände an der Luft nur langsam oder gar nicht trocknen, wenn die geringste Temperaturerniedrigung feuchte Niederschläge bewirkt, und wenn etwas kältere Gegenstände sich mit Feuchtigkeit überziehen. Wir nennen also die Luft trocken, wenn sie weit von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist, feucht dagegen, wenn der Thaupunkt der Temperatur der Luft sehr nahe liegt; mit diesem Urtheile über die Trockenheit oder Feuchtigkeit der Luft verbinden wir also durchaus kein Urtheil über den absoluten Wassergehalt der Luft. Wenn an einem heissen Sommer-

tage bei einer Temperatur von 25° C. jedes Cubikmeter Luft 13 Gramm Wasserdampf enthält, so sagen wir, die Luft sei sehr trocken; denn bei dieser Temperatur könnte jedes Cubikmeter Luft 22,5 Gramm Wasserdampf enthalten, oder die Luft müsste bis auf 15° erkaltet werden, um bei unverändertem Wassergehalte gesättigt zu sein. Wenn dagegen im Winter bei einer Temperatur von + 2° jedes Cubikmeter Luft nur 6 Grm. Wasserdampf enthält, so ist die Luft sehr feucht, weil die Luft für die herrschende Temperatur beinahe vollständig mit Wasserdampf gesättigt ist und die geringste Temperaturerniedrigung schon einen Niederschlag zur Folge hat.

In diesem Sinne können wir sagen, dass zur Zeit des Sonnenaufgangs die Luft am feuchtesten sei, obgleich der absolute Wassergehalt geringer ist als zu jeder anderen Tageszeit. Gegen 3 Uhr Nachmittags ist im Sommer die Luft am trockensten.

Der absolute Wassergehalt der Luft ist wie die mittlere Lufttemperatur im Januar ein Minimum, er nimmt bis zum Juli zu, wo er sein Maximum erreicht, dann aber nimmt er wieder ab bis zum Ende des Jahres.

Obgleich nun der Wassergehalt der Luft im Sommer grösser ist als im Winter, so sagt man doch, die Luft sei im Sommer trockener, weil sie im Sommer durchschnittlich weiter von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist.

322 **Feuchtigkeit der Luft in verschiedenen Gegenden.** Die Bildung des Wasserdampfes ist vorzugsweise von zwei Bedingungen abhängig, nämlich von der Temperatur und von der Gegenwart des Wassers. Bei einem unbegränzten Wasservorrathe werden sich um so mehr Wasserdämpfe bilden, je höher die Temperatur ist; bei gleicher Temperatur aber werden sich in wasserreichen Gegenden mehr Dämpfe bilden können als in wasserarmen. Daraus folgt nun, dass der absolute Wassergehalt der Luft unter sonst gleichen Umständen von dem Aequator nach den Polen hin abnehmen muss, und dass sie im Inneren der grossen Continente trockener, d. h. weiter von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist, als auf dem Meere und an den Meeresküsten. Wie sehr die Trockenheit der Luft mit der Entfernung vom Meere zunimmt, beweist schon die Heiterkeit des Himmels der Binnenländer.

323 **Der Thau.** Es ist oben, auf Seite 971, bemerkt worden, wie der feine Thau auf der glänzenden Kugel des Daniell'schen Hygrometers entsteht, wenn diese Kugel erkaltet wird. Ebenso erklärt sich die Thaubildung im Grossen.

Wenn nach Sonnenuntergang der Himmel heiter und die Luft ruhig bleibt, so werden die verschiedenen Gegenstände auf der Erdoberfläche durch die nächtliche Strahlung gegen den Himmelsraum mehr und mehr erkalten, ihre Temperatur sinkt um 2, 3, ja manchmal um 7 bis 8° unter

die Temperatur der Luft herab. Man kann sich davon überzeugen, wenn man ein Thermometer an einem heitern windstillen Sommerabend zwischen die Grashalme einer Wiese oder in einer sternhellen Winternacht auf die Oberfläche des Schnees hält. Das Thermometer steht hier mehrere Grade niedriger, als wenn man es einige Fuss hoch über dem Boden frei in der Luft aufhängt.

Die durch Ausstrahlung erkalteten Körper der Erdoberfläche erniedrigen auch die Temperatur der sie zunächst umgebenden Luftschichten; und wenn diese bis zum Thaupunkt erkaltet sind, so wird sich ein Theil des in ihnen enthaltenen Wasserdampfes in Form von feinen Tröpfchen an die kalten Körper ansetzen.

Da nicht alle Körper gleiches Wärmestrahlungsvermögen haben, so erkalten auch einige stärker als andere, und so kommt es, dass manche Körper stark mit Thau überzogen sind, während andere fast ganz trocken bleiben. Gras und Blätter erkalten besonders stark durch die nächtliche Strahlung, theils weil sie ein sehr starkes Strahlungsvermögen besitzen, theils aber auch, weil sie frei in die Luft hineinragen, so dass ihnen vom Boden aus nur wenig Wärme zugeleitet werden kann; man findet sie deshalb stärker bethauet als Steine und den nackten Boden.

Eine Wolkendecke, welche den Himmel überzieht, hindert die Thaubildung, weil sie ihre nächtliche Strahlung hindert. Auch wenn ein nur etwas lebhafter Wind weht, thaut es nicht, weil er beständig von Neuem warme Luft mit der Bodenoberfläche in Berührung bringt, wodurch derselben fortwährend Wärme zugeführt wird und die Luft vorbeistreicht, ehe sie bis zum Thaupunkte erkaltet werden kann.

Der Reif ist nichts anderes als gefrorener Thau. Wenn der Körper, an welchem sich der condensirte Wasserdampf absetzt, unter 0° erkaltet ist, so kann er sich nicht mehr in flüssiger Gestalt, sondern nur in Form von Eisnadeln absetzen.

Nebel und Wolken. Wenn die Wasserdämpfe, aus einem Topf 324
mit kochendem Wasser aufsteigend, sich in der kälteren Luft verbreiten, so werden sie alsbald verdichtet, es entsteht der Schwaden, welcher aus einer Menge kleiner hohler Wasserbläschen besteht, die in der Luft schweben. Man nennt diesen Schwaden auch öfters Dampf, doch ist es kein eigentlicher Dampf mehr, wenigstens kein Dampf im physikalischen Sinne des Wortes, denn es ist ja ein verdichtetes Wassergas.

Wenn die Verdichtung der Wasserdämpfe nicht durch Berührung mit kalten festen Körpern, sondern durch die ganze Masse der Luft hindurch vor sich geht, so entstehen Nebel, welche im Grossen dasselbe sind wie der Schwaden, den wir über kochendem Wasser sehen.

Nebel entstehen jeder Zeit, wenn die mit Wasserdämpfen gesättigte Luft auf irgend eine Weise durch ihre ganze Masse hindurch unter ihren Thaupunkt erkaltet wird, wenn also die mit Wasserdampf gesättigte wär-

mere Luft durch Windströmungen an kältere Orte hingeführt, oder wenn sie mit kälteren Luftmassen gemengt wird.

Diese Wolken sind nichts anderes als Nebel, welche in den höheren Luftregionen schweben, sowie denn Nebel nichts sind als Wolken, welche auf dem Boden aufliegen. Oft sieht man die Gipfel der Berge in Wolken eingehüllt, während die Wanderer auf diesen Bergspitzen sich mitten im Nebel befinden.

Auf den ersten Anblick scheint es unbegreiflich, wie die Wolken in der Luft schweben können, da sie doch aus Bläschen bestehen, welche offenbar schwerer sind als die umgebende Luft. Da das Gewicht dieser kleinen Wasserbläschen im Vergleich zu ihrer Oberfläche sehr gering ist, so muss die Luft ihrem Falle einen bedeutenden Widerstand entgegensetzen; sie können sich jedenfalls nur sehr langsam herabsenken, wie ja auch eine Seifenblase, welche überhaupt mit unseren Dunstbläschen eine grosse Aehnlichkeit hat, in ruhiger Luft nur langsam fällt. Somit müssen aber doch die Dunstbläschen, wenn auch sehr langsam, sinken, und man sollte demnach meinen, dass bei ruhigem Wetter sich die Wolken doch endlich bis auf den Boden herabsenken müssten.

Die bei ruhigem Wetter allerdings herabsinkenden Dunstbläschen können aber den Boden nicht erreichen, weil sie bald in wärmere, nicht mit Dämpfen gesättigte Luftschichten gelangen, in welchen sie sich wieder in Dampf auflösen und dem Blicke entschwinden; während sich aber unten die Dunstbläschen auflösen, werden an der oberen Gränze neue gebildet, und so scheint die Wolke unbeweglich in der Luft zu schweben.

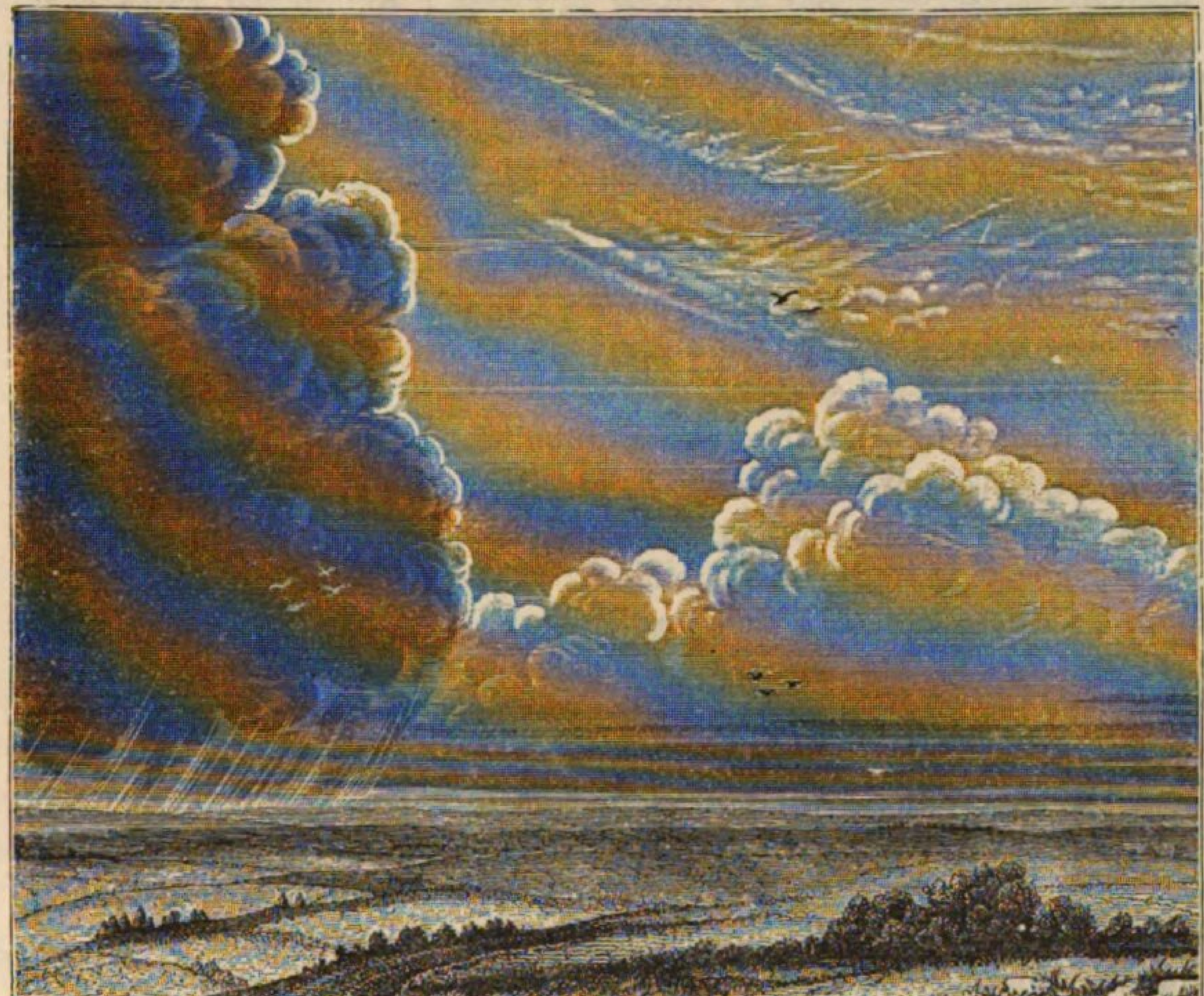
Wir haben eben die Dunstbläschen in ganz ruhiger Luft betrachtet. In bewegter Luft werden sie der Richtung der Luftströmung folgen müssen; ein Wind, welcher sich in horizontaler Richtung fortbewegt, wird die Wolken auch in horizontaler Richtung fortführen, und ein aufsteigender Luftstrom wird sie mit in die Höhe nehmen, sobald seine Geschwindigkeit grösser ist als die Geschwindigkeit, mit welcher die Dampfbläschen in ruhiger Luft herabfallen würden. Sehen wir ja doch auch, wie die Seifenblasen durch den Wind fortgeführt und über Häuser hinweggetragen werden. So erklärt sich denn auch durch die aufsteigenden Luftströme das Steigen des Nebels.

Das Aussehen der Wolken ist, je nachdem sie höher oder tiefer schweben, je nachdem sie mehr oder weniger dicht, auf diese oder jene Weise beleuchtet sind u. s. w., gar mannigfaltig. Howart hat unter den verschiedenen Wolken folgende Hauptarten unterschieden:

1. Die Federwolke, *cirrus*, besteht aus sehr zarten, bald mehr streifigen, bald mehr locken- und federartigen Fasern, welche nach schönem Wetter zuerst am Himmel erscheinen. In Fig. 762 sieht man sie in dem Eck oben rechts bis herunter, wo die zwei Vögel schweben. Bei trockenem Wetter sind die Federwolken mehr streifig, bei feuchtem mehr verwaschen.

2. Die Haufenwolke, *cumulus*, welche in unserer Figur gerade unter die Federwolke gezeichnet ist, bildet grosse halbkugelförmige Massen,

Fig. 762.



welche auf horizontaler Basis zu ruhen scheinen. Diese Wolken erscheinen vorzugsweise im Sommer; manchmal thürmen sich Haufenwolken zu malerischen Gruppen zusammen und bieten dann, von der Sonne beschienen, den Anblick ferner Schneegebirge.

3. Die Schichtwolken, *stratus*, sind horizontale Wolkenstreifen (in unserer Figur unter dem *cumulus*), welche vorzugsweise bei Sonnenuntergang mit ausserordentlicher Farbenpracht erscheinen.

Diese Grundformen gehen auf mannigfaltige Weise in einander über; Howard hat diese Uebergangsformen durch die Namen *cirro-cumulus*, *cirro-stratus*, *cumulo-stratus* und *nimbus* bezeichnet.

Die fedrige Haufenwolke, *cirro-cumulus*, ist der Uebergang der Federwolke zur Haufenwolke, es sind die kleinen, weissen, runden Wölkchen, welche unter dem Namen Schäfchen allgemein bekannt sind.

Wenn die Federwolken nicht einzeln zerstreut, sondern zu Streifen von bedeutender Ausdehnung verbunden sind, so bilden sie die fedrige Schichtwolke, *cirro-stratus*, welche, wenn sie nahe am Horizonte stehen, den Anblick ausgedehnter Schichten bieten; oft überziehen die *cirro-stratus* den ganzen Himmel mit einem Schleier.

Wenn die Haufenwolken dichter werden, so gehen sie in die streifige Haufenwolke, *cumulo-stratus*, über, welche oft den ganzen Horizont mit einem blauschwarzen Farbentone überziehen und endlich in die eigentliche Regenwolke, *nimbus* (in unserer Figur links), übergehen.

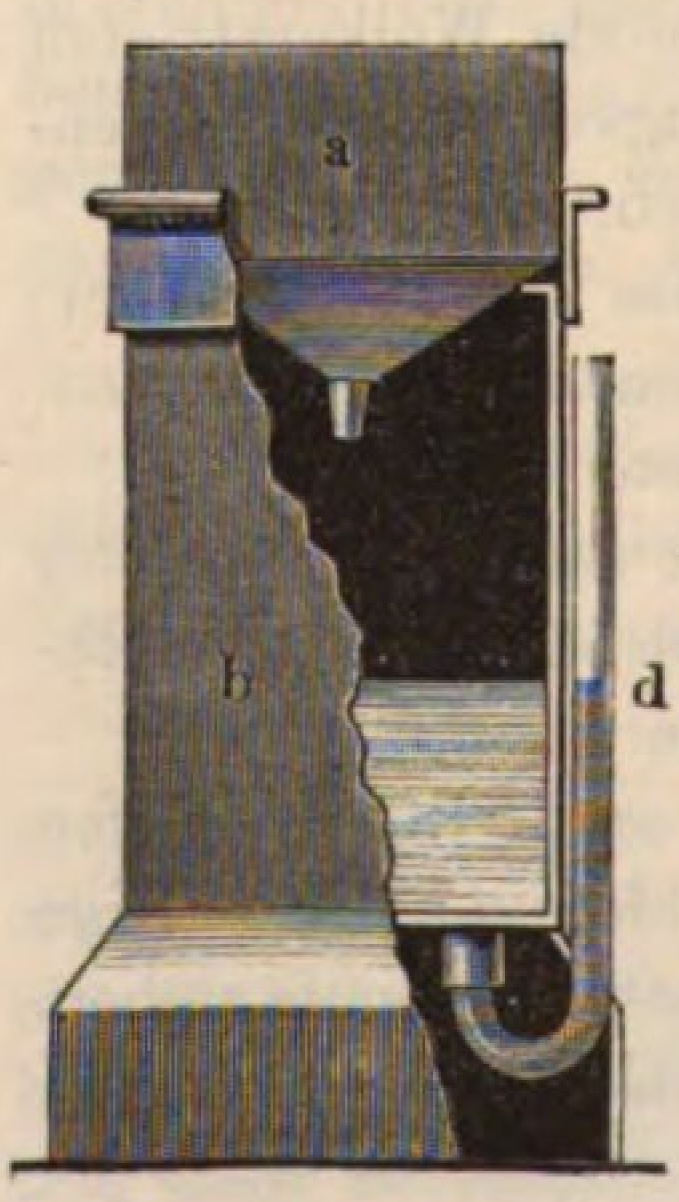
Wenn man bedenkt, wie ausserordentlich mannigfaltig an Gestalt sowohl als auch an Farbe die verschiedenen Wolken sein können, so begreift man wohl, dass es oft schwierig ist zu entscheiden, ob das Ansehen einer Wolke sich mehr dem einen oder dem anderen Typus nähert.

Unter allen Wolkenarten sind die Federwolken die höchsten, denn auf hohen Bergen bieten sie noch denselben Anblick wie im Thale. Kämtz hat zu Halle ihre Höhe annähernd zu 20,000 Fuss bestimmt. Es ist höchst wahrscheinlich, dass die *cirri* nicht aus Nebelbläschen, sondern aus Schneenädelchen bestehen.

Die Haufenwolken bilden sich gewöhnlich, wenn durch den aufsteigenden Luftstrom die Wasserdämpfe in die Höhe geführt und dort, wegen der geringeren Temperatur, verdichtet werden. Daher kommt es, dass sich oft gegen Mittag Wolken bilden, während die Sonne am heiteren Himmel aufgegangen ist, und gegen Abend der Himmel wieder heiter wird, weil die Wolken sich wieder senken, wenn der aufsteigende Strom aufhört; in tieferen, wärmeren Regionen angekommen, lösen sich dann die Wolken wieder auf, wenn die Luft nicht mit Dämpfen gesättigt ist. Wenn aber der Südwestwind mehr und mehr Wasserdämpfe herbeiführt, wenn die Luft mit Dämpfen gesättigt ist, so können die sich senkenden Wolken nicht wieder aufgelöst werden, sie werden dichter und dunkler, während oft hoch über den unteren Wolken eine Schicht von Federwolken schwebt. Die unteren Haufenwolken gehen dann mehr und mehr in *cumulo-stratus* über und man hat alsdann Regen zu erwarten.

Wenn durch fortwährende Condensation von Wasserdämpfen die einzelnen Dunstbläschen grösser und schwerer werden, wenn endlich einzelne Bläschen sich nähern und zusammenfliessen, so bilden sich förmliche Wassertropfen, welche nun als Regen herabfallen. In der Höhe sind die Regentropfen noch sehr klein, sie werden aber während des Fallens grösser, weil sie wegen ihrer geringeren Temperatur die Wasserdämpfe der Luftschichten verdichten, durch welche sie herabfallen.

Fig. 763.



325 **Regenmenge.** Die Menge des Regens, welcher an irgend einem Orte der Erde im Laufe des Jahres fällt, ist für die Meteorologie ein höchst wichtiges Element. Die Instrumente, deren man sich zu diesem Zwecke bedient, werden Regenmesser, Ombrometer oder Udometer genannt. Die Figur 763 stellt den gewöhnlichen Regenmesser dar; er besteht aus einem Blechgefäss *b*,

dessen quadratischer Querschnitt ungefähr 1 Quadratfuss beträgt und auf welchen ein zweites Gefäss *a* mit trichterartigem Boden aufgesetzt wird. In der Mitte dieses Trichters befindet sich eine Oeffnung, durch welche alles Wasser, welches in Form von Regen in das oben offene Gefäss *a* hineinfällt, in den Behälter *b* abfliesst. Das unten gekrümmte Glasrohr *d* steht mit dem Inneren des Gefässes *b* in Verbindung, so dass man auf einer hinter *d* angebrachten Scala die Höhe des Wasserstandes in *b* ablesen kann. Vorausgesetzt, dass die Querschnitte von *a* und *b* gleich sind, giebt die Höhe der Wassersäule in *d* an, wie hoch sich der Boden in einer gewissen Zeit mit Wasser bedeckt haben würde, wenn es nicht eingeschluckt worden oder verdunstet wäre.

Die jährliche Regenmenge beträgt zu

Lissabon . . .	25	Par. Zoll	Bergen	83	Par. Zoll
Dover	44	„	Stockholm . . .	19	„
London	23	„	Petersburg . . .	17	„
Paris	21	„	Genua	44	„
Regensburg . .	21	„	Rom	29	„

Die Regenmenge ist jedoch nicht gleichförmig über das ganze Jahr vertheilt; in dieser Beziehung lässt sich Europa in drei Provinzen theilen.

In England, auf den Westküsten von Frankreich, in den Niederlanden und Norwegen sind die Herbstregen vorherrschend.

In Deutschland, den westrheinischen Gegenden, Dänemark und Schweden herrschen die Sommerregen vor.

Die Sommerregen fehlen im südöstlichen Frankreich, Italien, dem südlichen Portugal, überhaupt dem Theile Europas, welcher Afrika zunächst liegt, fast ganz.

Die Anzahl der Regentage während eines Jahres nimmt in Europa im Allgemeinen von Süden nach Norden zu. Im Durchschnitte kommen auf das Jahr

im südlichen Europa . . .	120	Regentage
„ mittleren „ . . .	146	„
„ nördlichen „ . . .	180	„

Dass die Regenmenge nicht allein von der Zahl der Regentage abhängen kann, ist klar; denn es kommt ja nicht allein darauf an, an wie vielen Tagen es regnet, sondern auch wie viel es regnet. Wenn in nördlicheren Gegenden die Zahl der Regentage zunimmt, so nimmt dagegen die Intensität des Regens im Allgemeinen ab, und so erklärt es sich z. B., dass in Petersburg die Zahl der Regentage zwar grösser, die Regenmenge aber geringer ist als in Rom.

Mit der Entfernung der Meere nimmt sowohl die Regenmenge als auch die Zahl der Regentage ab; so kommen z. B. im Durchschnitt

in Petersburg	168,
„ Kasan	90,
„ Jakutzk	60

Regentage auf das ganze Jahr.

So wie unter sonst gleichen Umständen der Regen in wärmeren Gegenden intensiver ist als in den kälteren, so ist er auch in der warmen Jahreszeit intensiver als in der kalten. Im Durchschnitt kommen in Deutschland auf den Winter 38, auf den Sommer 42 Regentage; die Zahl der Regentage ist also im Sommer kaum etwas bedeutender als im Winter, und doch ist die Regenmenge im Sommer ungefähr doppelt so gross als im Winter. In den Sommermonaten fällt oft bei einem einzigen Gewitter mehr Regen als sonst in mehreren Wochen.

326 **Regen zwischen den Wendekreisen.** Da, wo die Passatwinde mit grosser Regelmässigkeit wehen, ist der Himmel meistens heiter, und es regnet selten, namentlich wenn die Sonne auf der anderen Hemisphäre steht. Auf den Continenten aber wird die Regelmässigkeit des Passates gestört durch die Intensität des aufsteigenden Luftstroms, sobald sich die Sonne dem Zenith nähert; um diese Zeit stellt sich auch ein mehrere Monate andauerndes heftiges Regenwetter ein, während die andere Hälfte des Jahres hindurch der Himmel heiter und die Luft trocken ist.

Humboldt hat uns die Erscheinungen der nassen Jahreszeit im nördlichen Theile von Südamerika beschrieben. Vom December bis zum Februar ist die Luft trocken und der Himmel heiter. Im März wird die Luft feuchter, der Himmel weniger rein, der Passatwind weht weniger stark, und oft ist die Luft ganz ruhig. Mit Ende März beginnen die Gewitter; sie bilden sich des Nachmittags, wenn die Hitze am grössten ist, und sind von heftigen Regengüssen begleitet. Gegen Ende Aprils fängt eigentlich die nasse Jahreszeit an; der Himmel überzieht sich mit einem gleichförmigen Grau, und es regnet täglich von 9 Uhr Morgens bis 4 Uhr Nachmittags; des Nachts ist der Himmel meistens rein. Der Regen wird am heftigsten, wenn die Sonne im Zenith steht. Allmälig wird die Zeit des Tages, in welcher es regnet, immer kürzer, und gegen Ende der Regenzeit regnet es nur Nachmittags.

Die Dauer der Regenzeit ist in verschiedenen Gegenden nicht dieselbe, sie beträgt 3 bis 5 Monate.

In Ostindien, wo die Regelmässigkeit der Passatwinde durch örtliche Verhältnisse gestört ist und wo statt ihrer die Moussons wehen, finden wir auch anormale Regenverhältnisse; an der steilen Westküste von Vorderindien fällt die Regenzeit mit der Zeit unseres Sommers zusammen, sie fällt nämlich in die Zeit, zu welcher die Südwestmoussons wehen und, mit Feuchtigkeit beladen, an die hohen Gebirge anstossen. Während es auf der Küste Malabar regnet, ist auf der Ostküste Coromandel der Him-

mel heiter; hier stellt sich die Regenzeit mit dem Nordostpassat, also gerade zu der Zeit ein, zu welcher auf der Westküste die trockene Jahreszeit herrscht.

In der Region der Calmen findet man diese periodischen Regen nicht, es finden hier fast täglich heftige Regengüsse statt. Der aufsteigende Luftstrom führt eine Masse von Wasserdämpfen in die Höhe, welche sich in den kälteren Regionen wieder verdichten. Die Sonne geht fast immer bei heiterem Himmel auf, gegen Mittag bilden sich einzelne Wolken, welche dichter und dichter werden, bis ihnen endlich, meist unter heftigen Windstössen und elektrischen Entladungen, eine ungeheure Regenmenge entströmt. Gegen Abend zerstreut sich das Gewölk und die Sonne geht wieder bei heiterem Himmel unter.

Die jährliche Regenmenge ist im Allgemeinen in den Tropen sehr gross; sie beträgt z. B. in Bombay 73,5, in Kandy 68,9, in Sierra Leone 80,9, zu Rio Janeiro 55,6, auf St. Domingo 100,9, zu Havanna 85,7 und in Granada 105 Pariser Zoll. Bedenkt man nun, dass der Regen meist nur auf wenige Monate vertheilt ist und dass es nur an wenigen Stunden des Tages regnet, so ist es klar, dass der Regen sehr stark sein muss. In Bombay fielen an einem Tage 6 Zoll, zu Cayenne in 10 Stunden 10 Zoll Regen. Die Regentropfen sind sehr gross und fallen mit solcher Geschwindigkeit nieder, dass sie auf der nackten Haut ein schmerzhaftes Gefühl erzeugen.

Schnee und Hagel. Ueber die Bildung des Schnees weiss man 327
bis jetzt noch sehr wenig. Wahrscheinlich bestehen die Wolken, in denen

Fig. 764.

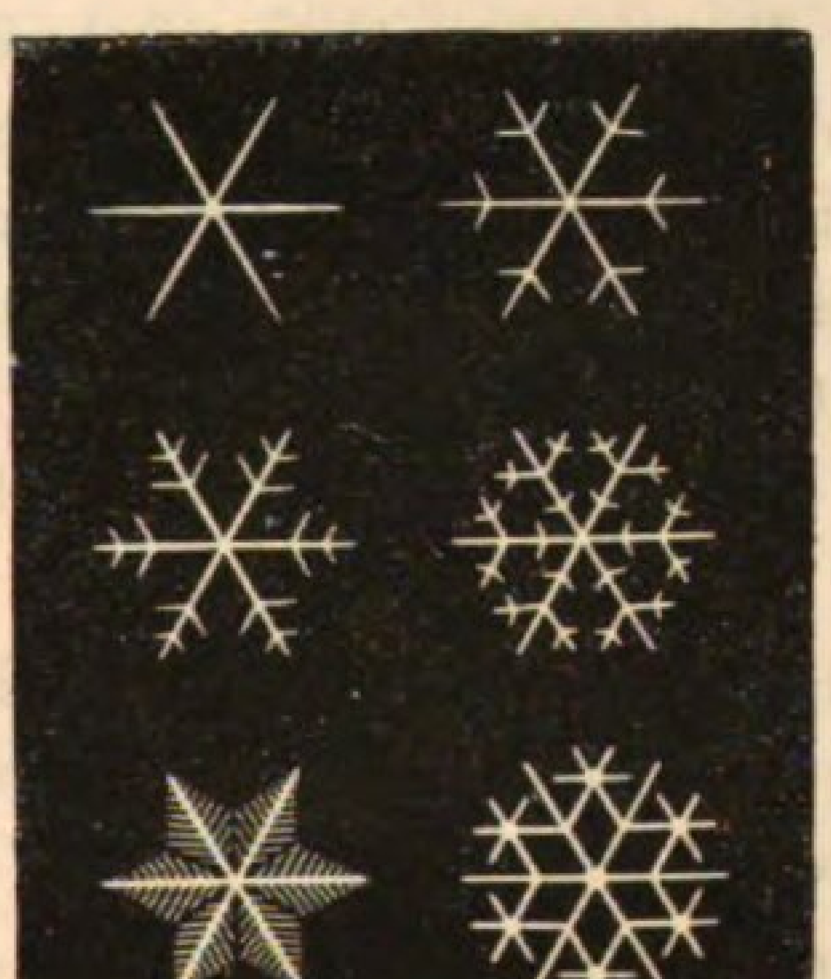
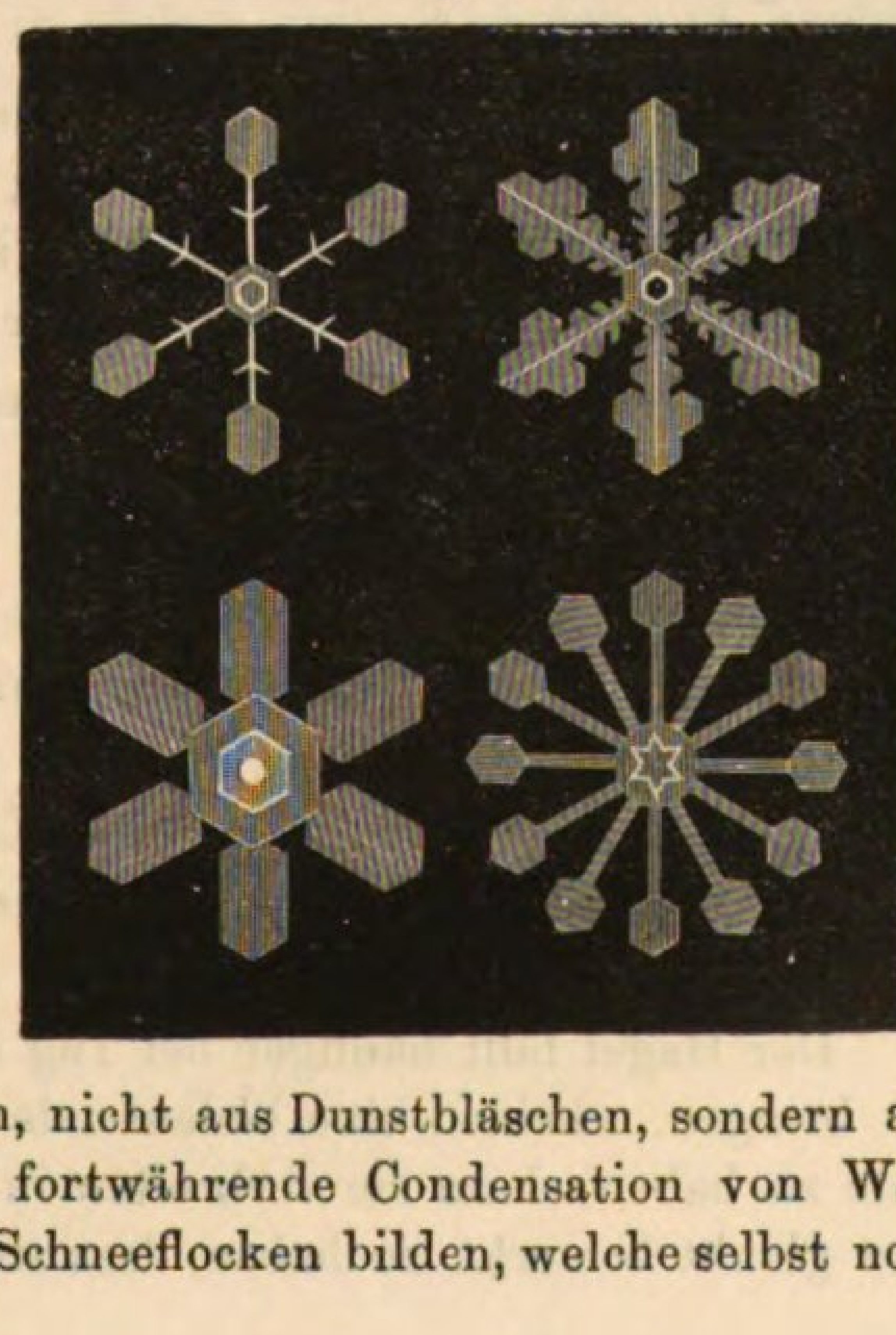


Fig. 765.



sich die Schneeflocken zuerst bilden, nicht aus Dunstbläschen, sondern aus feinen Eisnädelchen, welche durch fortwährende Condensation von Wasserdämpfen grösser werden und so Schneeflocken bilden, welche selbst noch

beim Herabfallen durch die unteren Luftschichten wachsen. Sind die unteren Luftregionen zu warm, so schmelzen die Schneeflocken, ehe sie den Boden erreichen, es regnet unten, während es oben schneit.

Auf die regelmässige Gestalt der Schneeflocken, welche man am besten beobachten kann, wenn man sie auf einem dunklen, unter 0^0 erkalteten Körper auffängt, hat schon Kepler aufmerksam gemacht. Fig. 764 und Fig. 765 (a. v. S.) zeigen einige Schneefiguren, welche ich im schneereichen Februar 1858 beobachtet habe.

Schon eine oberflächliche Betrachtung dieser Figuren zeigt, dass sich alle diese Gestalten im Wesentlichen auf einen regelmässigen sechsseitigen Stern zurückführen lassen, wonach denn die Schneeflocken dem hexagonalen Krystallsysteme (dem Krystallsysteme des Bergkrystalls) angehören.

Der Graupelregen, den man gewöhnlich im März und im April beobachtet, entsteht auf ähnliche Art wie der Schnee; die Graupelkörner bestehen aus ziemlich fest zusammengeballten Eisnädelchen.

Der Hagel ist eine der furchtbarsten Geisseln für den Landmann und eins der schwierigsten Phänomene für den Meteorologen.

Die gewöhnliche Grösse der Hagelkörner ist die einer Haselnuss, sehr häufig fallen kleinere, sie werden aber als weniger gefährlich nicht sonderlich beachtet, oft sind sie aber noch weit grösser und zerschmettern dann alles, was sie treffen.

Glaubhafte Naturforscher haben Hagelkörner beobachtet, welche 24 bis 26 Loth wogen.

Die Form der Hagelkörner ist sehr verschieden. In der Regel sind sie abgerundet, manchmal aber auch abgeplattet oder eckig. In der Mitte der Hagelkörner befindet sich in der Regel ein undurchsichtiger Kern, welcher den Graupelkörnern gleicht; dieser Kern ist mit einer durchsichtigen Eismasse umgeben, in welcher sich manchmal einzelne concentrische Schichten unterscheiden lassen; bisweilen beobachtet man abwechselnd durchsichtige und undurchsichtige Eisschichten; endlich hat man auch schon Hagelkörner mit strahliger Structur beobachtet.

Pouillet fand, dass die Temperatur der Hagelkörner — 0,5 bis — 4^0 beträgt.

Der Hagel geht gewöhnlich den Gewitterregen voran, oder er begleitet sie. Nie, oder wenigstens selten, folgt der Hagel auf den Regen, namentlich wenn der Regen einige Zeit gedauert hat.

Das Hagelwetter dauert meistens nur einige Minuten, selten dauert es $^1/_4$ Stunde lang. Die Menge des Eises, welches in so kurzer Zeit den Wolken entströmt, ist ungeheuer, die Erde ist manchmal Zoll hoch damit bedeckt.

Der Hagel fällt häufiger bei Tag als bei Nacht. Die Wolken, welche ihn bringen, scheinen eine bedeutende Ausdehnung und eine bedeutende Tiefe zu haben, denn sie verbreiten in der Regel eine grosse Dunkelheit. Man glaubt bemerkt zu haben, dass sie eine eigenthümliche grauröthliche

Farbe besitzen, dass an ihrer unteren Gränze grosse Wolkenmassen herabhängen und dass ihre Ränder vielfach zerrissen erscheinen.

Die Hagelwolken scheinen meistens sehr niedrig zu schweben. Die Bergbewohner sehen öfters unter sich Wolken, welche die Thäler mit Hagel überschütten; ob jedoch die Hagelwolken immer so tief ziehen, lässt sich nicht mit Sicherheit ausmachen.

Einige Augenblicke vor dem Beginne des Hagelwetters hört man ein eigenthümliches, rasselndes Geräusch. Endlich ist der Hagel stets von elektrischen Erscheinungen begleitet.

Ueber die Erklärung des Hagels sind die Naturforscher noch keineswegs einig. Volta's Theorie, nach welcher die ursprünglich kleinen Hagelkörner zwischen entgegengesetzt elektrischen Wolken so lange hin und her tanzen sollen, bis sie endlich herabfallen, wenn sie zu schwer geworden sind, ist ziemlich allgemein als unwahrscheinlich aufgegeben worden.

Viel wahrscheinlicher ist dagegen die fast gleichzeitig von Fr. Vogel und K. Nöllner aufgestellte Hageltheorie. Nach dieser Theorie kann der Bläschendampf, welcher die Wolken bildet, ebenfalls weit unter den Schmelzpunkt des Eises erkalten, ohne dass ein Erstarren eintritt, wie man dies beim tropfbar flüssigen Wasser beobachtet (Seite 686). Wenn nun aus einer höheren Wolkenschicht Graupelkörner durch eine in diesem Zustande befindliche Wolke herabfallen, so muss sich auf ihnen Wasser niederschlagen, welches augenblicklich erstarrt. Bei niedriger Temperatur der Wolke kann auf diese Art in ganz kurzer Zeit eine massenhafte Eisbildung stattfinden.

Mohr sucht die Hagelbildung auf das Hereinbrechen kalter Luftmassen aus höheren Regionen in tiefere mit Wasserdampf gesättigte Luftschichten zurückzuführen.

Viertes Capitel.

Optische Erscheinungen der Atmosphäre.

328 **Farbe des Himmels.** Der heitere Himmel erscheint uns blau, und zwar ist dieses Blau, je nach dem Zustande der Atmosphäre, bald heller und weisslicher, bald dunkler; auf hohen Bergen erscheint der Himmel sehr dunkelblau, ja fast schwarz. Es ist dies leicht zu erklären; wenn die Luft absolut durchsichtig wäre, wenn die einzelnen Lufttheilchen gar kein Licht reflectirten oder vielmehr zerstreuten, so müsste uns der Himmel vollkommen schwarz erscheinen, die Sonne, der Mond, die Sterne würden glänzend auf dem schwarzen Grunde stehen; nun aber reflectiren die Lufttheilchen das Licht, und so kommt es, dass bei Tage der ganze Himmel hell erscheint, weil die von der Sonne erleuchteten Lufttheilchen das Licht nach allen Seiten hin zerstreuen. Diese Erleuchtung der Atmosphäre durch die Sonnenstrahlen ist die Ursache, dass wir die Sterne bei Tage nicht sehen können. Die Lufttheilchen reflectiren vorzugsweise das blaue Licht, und deshalb erscheint uns der an und für sich dunkle Himmelsraum mit Blau überzogen. Je höher wir uns in der Atmosphäre erheben, desto dünner wird dieser blaue Ueberzug und desto dunkler wird uns also auch der Himmel erscheinen; so erscheint auch im Zenith der Himmel stets am dunkelsten blau und gegen den Horizont mehr weisslich.

Das reine Blau des Himmels wird besonders durch die in der Luft schwebenden condensirten Wasserdämpfe gebleicht, durch feine Nebel, welche oft den Himmel mit einem leichten Schleier überziehen, ohne doch schon dicht genug zu sein, um als Wolken zu erscheinen.

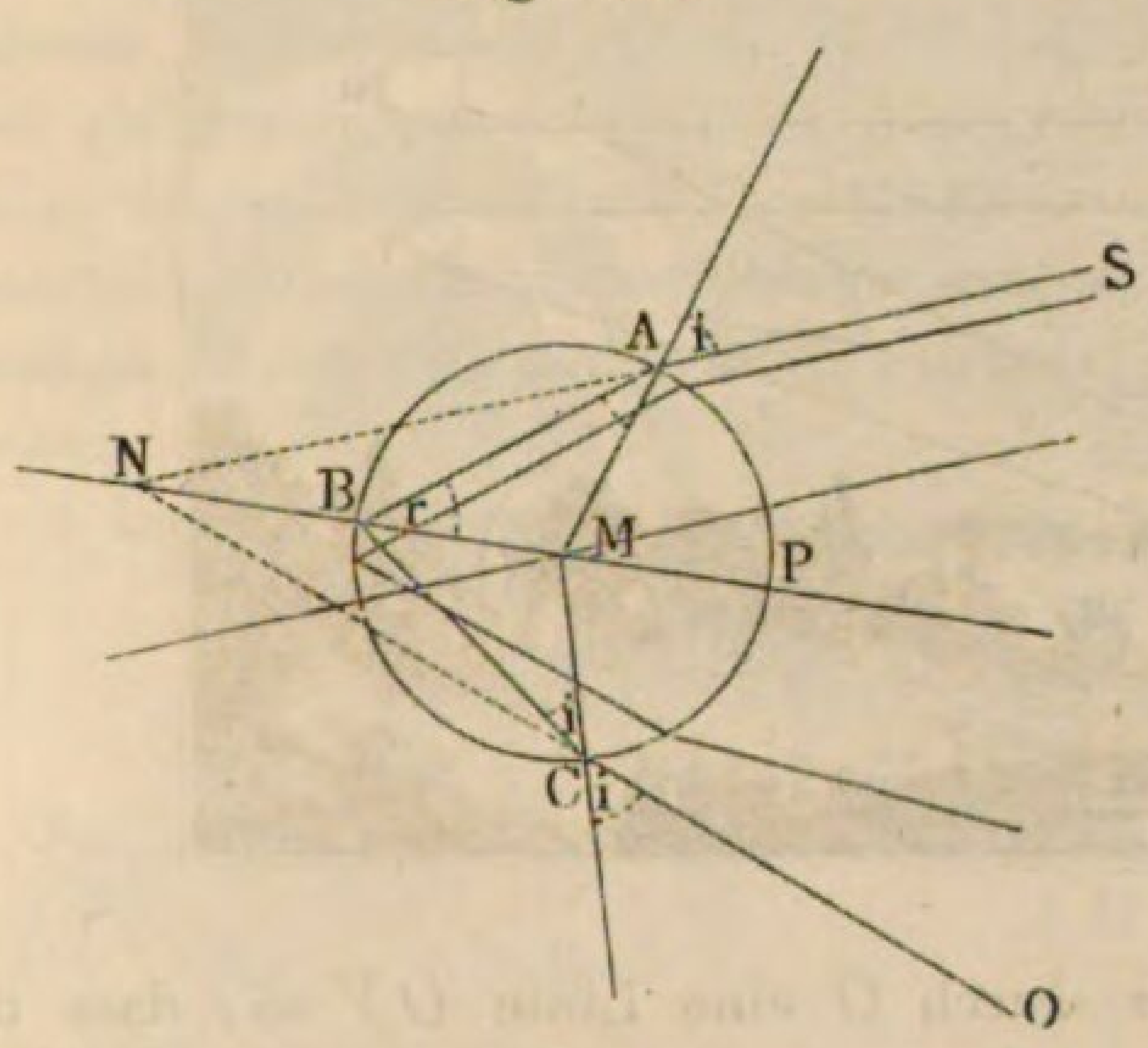
Die Erscheinungen der Abend- und Morgenröthe wurden dadurch erklärt, dass man sagte, die Luft lasse vorzugsweise die rothen und gelben Strahlen durch, sie reflectire aber die blauen; des Abends und des

Morgens haben aber die Sonnenstrahlen einen sehr weiten Weg durch die Atmosphäre zurückzulegen, daher die rothe Färbung der durchgelassenen Strahlen, welche besonders brillant ist, wenn Wolken durch diese Strahlen beleuchtet werden.

Diese Meinung kann nicht ganz richtig sein, indem das Blau des Himmels durchaus nicht die complementäre Farbe des Abendrothes ist. Das Abendroth rührt wahrscheinlich von dem in der Luft enthaltenen Wasserdampfe her.

Der Regenbogen. Es ist allgemein bekannt, dass man einen 329
Regenbogen sieht, wenn man eine regnende Wolke vor sich und die Sonne im Rücken hat. Der Regenbogen bildet gleichsam die Basis eines Kegels, dessen Spitze das Auge bildet und dessen Axe mit der geraden Linie zusammenfällt, welche man durch die Sonne und das Auge legen kann. Unter den eben angegebenen Bedingungen erscheint auch der Regenbogen in dem Staubregen der Wasserfälle und Springbrunnen.

Fig. 766.



Um den Regenbogen zu erklären, muss man den Weg der Sonnenstrahlen durch die Regentropfen verfolgen.

Wenn ein Sonnenstrahl *SA*, Fig. 766, einen Regentropfen trifft, so wird er gebrochen, und es ist leicht, die Richtung des gebrochenen Strahles *AB* zu berechnen oder zu construiren. Der gebrochene Strahl *AB* wird in *B* an der Rückwand des Tropfens nach *C* gespiegelt und tritt dann nach einer zweiten Brechung in der Richtung *CO* aus. Der austretende Strahl *CO* macht mit dem einfallenden einen Winkel *SNO*.

Es fallen aber parallel mit *SA* noch viele andere Sonnenstrahlen auf den Tropfen, und wenn man für einige derselben den Weg durch den Tropfen berechnet oder construirt, wie dies in unserer Figur noch für einen zweiten geschehen ist, so ergiebt sich, dass die austretenden Strahlen nicht unter einander parallel sind.

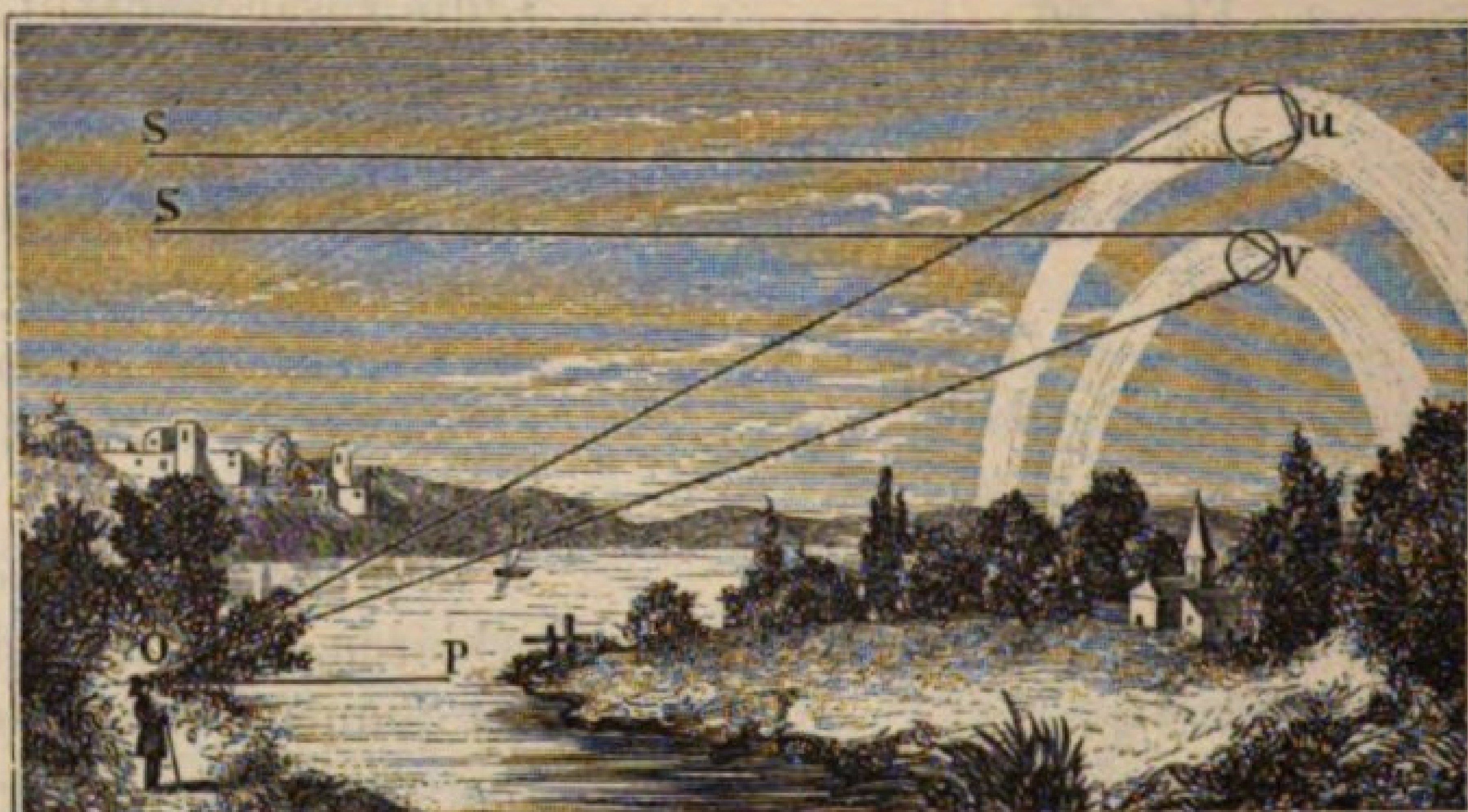
Während also ein paralleles Lichtbündel auf den Tropfen trifft, tritt ein stark divergirendes Strahlenbündel aus dem Tropfen aus. Es ist begreiflich, dass durch diese Divergenz der aus dem Tropfen kommenden Strahlen die Stärke des Lichteindrucks, den sie hervorbringen, ganz ausserordentlich geschwächt wird, namentlich wenn die Tropfen in einer nur etwas bedeutenden Entfernung vom Auge sich befinden. Unter allen aus dem Tropfen nach zweimaliger Brechung und einmaliger Spiegelung

ins Auge kommenden Strahlen können demnach nur diejenigen einen merklichen Lichteindruck machen, für welche diese Divergenz ein Minimum ist, oder mit anderen Worten, nur diejenigen, welche sehr nahe parallel austreten.

Bei genauerer Untersuchung ergiebt sich, dass eine ziemliche Menge parallel einfallender Strahlen den Tropfen fast in derselben Richtung verlässt, und zwar diejenigen, für welche der Winkel SNO nahe $42^0\ 30'$ ist, wenn es sich um rothes Licht handelt; diese Strahlen werden unter allen aus dem Tropfen kommenden rothen allein einen merklichen Lichteindruck hervorbringen können.

Denkt man sich durch die Sonne und das Auge des Beobachters eine gerade Linie OP, Fig. 767, gezogen, und durch dieselbe eine Vertical-

Fig. 767.



ebene gelegt; zieht man ferner durch O eine Linie OV so, dass der Winkel $POV = 42^0\ 30'$ ist, so werden nach dieser Richtung hin sich befindende Regentropfen nach einmaliger innerer Spiegelung wirksame Strahlen ins Auge senden. Jedoch nicht allein in dieser Richtung empfängt das Auge wirksame rothe Strahlen, sondern, wie leicht begreiflich, von allen Regentropfen, die in der Kegeloberfläche liegen, welche durch Umdrehung der Linie OV um die Axe OP entsteht; das Auge wird also einen rothen Kreisbogen sehen, dessen Mittelpunkt auf der von der Sonne durch das Auge gezogenen Geraden liegt und dessen Halbmesser unter einem Winkel von $42^0\ 30'$ erscheint.

In der erwähnten Richtung sieht man einen Kreis, der als ein rother Ring von 30′ Breite erscheint, weil die Sonne nicht ein Punkt, sondern eine Scheibe ist, die den scheinbaren Durchmesser 30′ hat. Die wirksamen violetten Strahlen treten aber nach einer Richtung aus, welche einen Winkel von $40^0\ 30'$ mit den einfallenden Strahlen macht, das Auge erblickt also einen violetten Ring von 30′ Breite, dessen Radius nur 40^0 30′ beträgt. Zwischen diesen äussersten Bogen erscheinen die der übrigen prismatischen Farben, und so bildet also gewissermaassen der Regenbogen ein zu einem kreisförmigen Bogen ausgedehntes Spectrum. Die

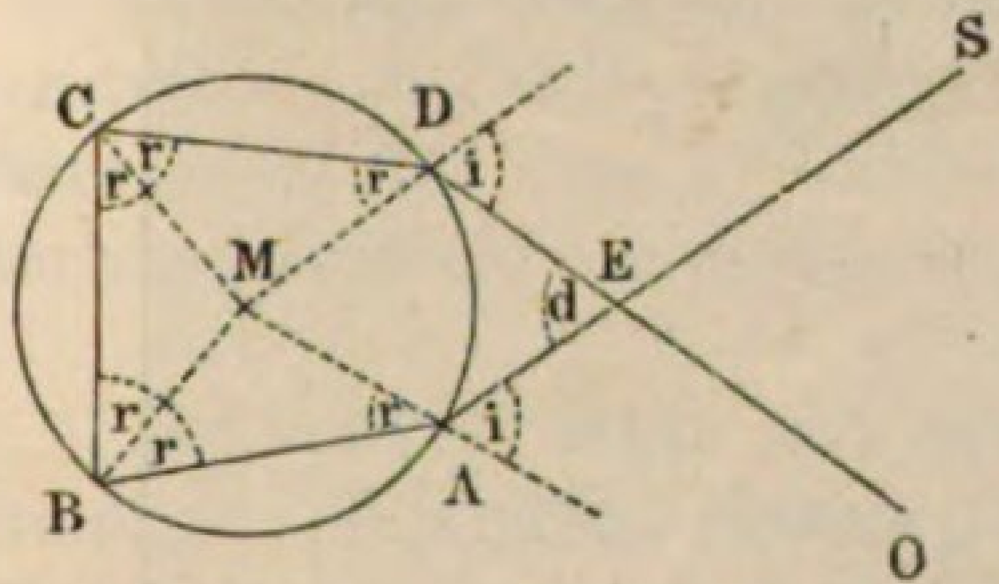
ganze Breite des Regenbogens beträgt ungefähr 2⁰, da ja der Halbmesser des rothen Bogens um 2⁰ grösser ist, als der des violetten.

Was die Ausdehnung des farbigen Bogens betrifft, so hängt sie offenbar von der Höhe der Sonne über dem Horizonte ab. Wenn die Sonne eben auf- oder untergeht, so liegt der Mittelpunkt des Bogens gerade im Horizont, für einen in der Ebene stehenden Beobachter bildet also der Regenbogen gerade einen Halbkreis. Je höher die Sonne steht, desto tiefer liegt der Mittelpunkt des farbigen Bogens unter dem Horizonte, desto kleiner ist also das dem Auge sichtbare Bogenstück.

Ausser dem eben besprochenen Regenbogen sieht man gewöhnlich noch einen zweiten grösseren, mit dem ersteren concentrischen, bei welchem die Ordnung der Farben die umgekehrte ist; beim äusseren Regenbogen ist nämlich das Roth innen, das Violett aussen. Der äussere Regenbogen ist weit weniger lichtstark als der innere, er erscheint weit blasser. Man hatte früher die irrige Ansicht, der zweite Regenbogen sei gleichsam ein Spiegelbild des ersten. Die Entstehung des äusseren Regenbogens beruht auf denselben Principien, wie die des inneren; er entsteht durch Sonnenstrahlen, welche in den Regentropfen eine zweimalige Brechung und eine zweimalige innere Reflexion erlitten haben.

In Fig. 768 ist der Gang eines Lichtstrahles dargestellt, welchen derselbe im Regentropfen nimmt, um ihn nach zweimaliger innerer Spiegelung zu verlassen. SA ist der einfallende Sonnenstrahl, welcher nach AB gebrochen, dann in B und C gespiegelt wird und bei D in der Richtung DO wieder austritt. In diesem Falle schneiden sich der einfallende und der austretende Strahl und bilden einen Winkel d mit einander, dessen Grösse veränderlich ist, je nachdem der einfallende Strahl den Tropfen an einer Stelle, also unter einem anderen Einfallswinkel trifft.

Fig. 768.



In diesem Falle machen die wirksam austretenden rothen Strahlen einen Winkel von 50⁰, die wirksam austretenden violetten Strahlen machen einen Winkel von $53^1/_2{}^0$ mit dem einfallenden; das Auge erblickt also eine Reihe concentrischer farbiger Ringe, deren innerster roth ist und 50⁰ Halbmesser hat, während der äussere violette Ring einen Halbmesser von $53^1/_2{}^0$ hat.

Der äussere Regenbogen ist blasser, weil er durch Strahlen gebildet wird, welche eine zweimalige innere Spiegelung erlitten haben, da das Licht bei jeder Spiegelung eine Schwächung erleidet.

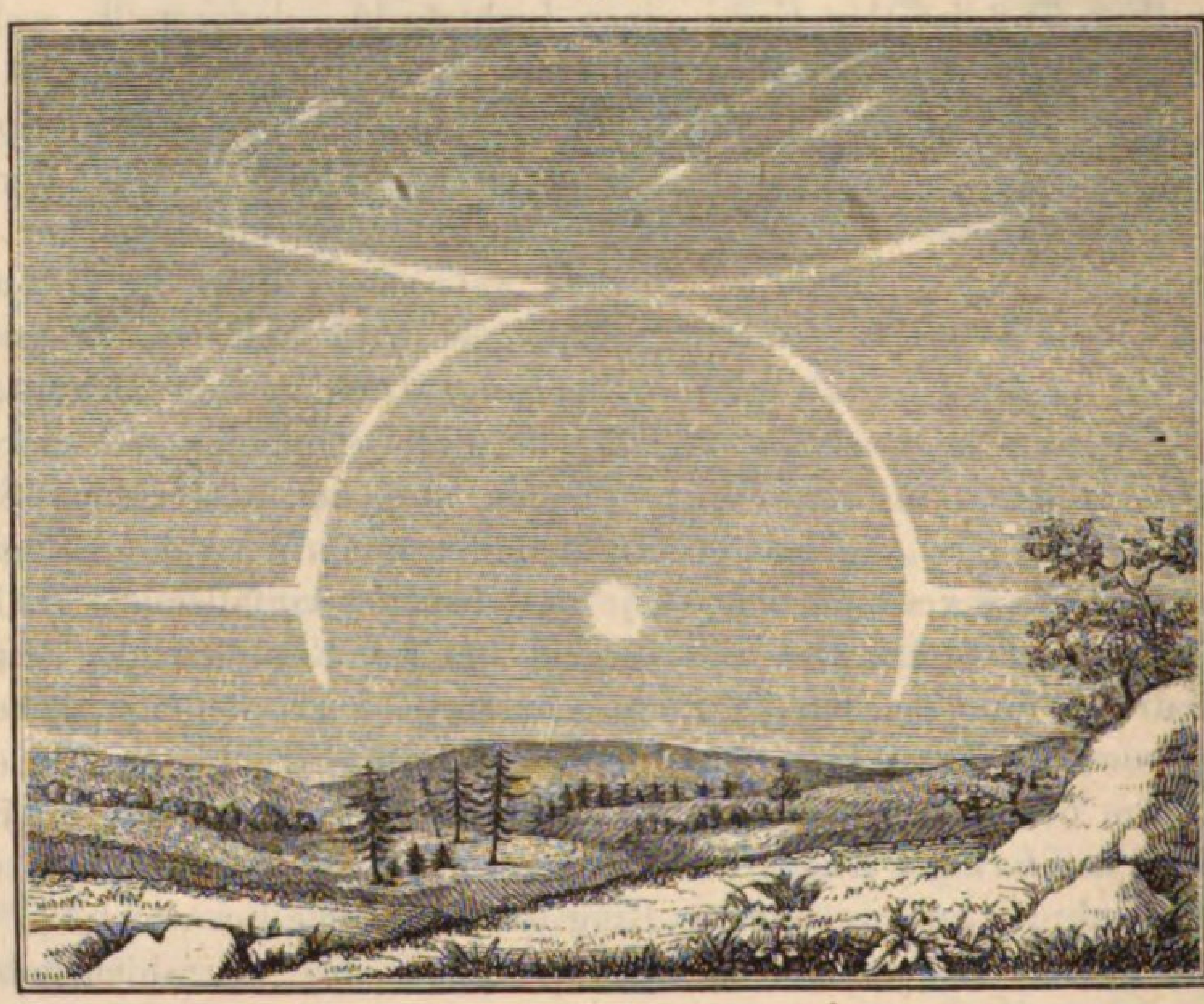
Höfe und Nebensonnen. Oft sieht man, wenn der Himmel mit einem leichten Wolkenschleier überzogen ist, dicht um die Sonne und den Mond farbige Ringe. Meist sieht man diese Ringe nicht voll- 330

ständig, sondern nur stückweise. Wenn man die Mondhöfe häufiger beobachtet als die Sonnenhöfe, so liegt der Grund darin, dass das Licht der Sonne zu blendend ist; man sieht aber diese auch, sobald man das Bild der Sonne in ruhigem Wasser oder in einem auf der Rückseite geschwärzten Spiegel betrachtet.

Diese Höfe haben die grösste Aehnlichkeit mit der Glorie, welche man um eine Kerzenflamme sieht, wenn man sie durch eine mit *semen lycopodii* bestreute Glasplatte betrachtet, und sicherlich sind die Höfe ebenso wie dieses Phänomen zu den Interferenzerscheinungen zu zählen; die Dunstbläschen vertreten die Stelle der feinen Staubtheilchen.

Bisweilen sieht man auch noch zwei grössere farbige Kreise um die Sonne und den Mond, welche mit den Höfen nicht zu verwechseln sind; der Halbmesser des kleineren dieser hellen Ringe erscheint unter einem Winkel von 22 bis 23°, der des grösseren aber unter einem Winkel von 46 bis 47°; das Roth ist bei denselben nach innen gekehrt, der innere Rand ist schärfer, der äussere mehr verschwommen und weniger deutlich gefärbt. Selten erscheinen die beiden Kreise zu gleicher Zeit. Fig. 769 stellt die Erscheinung dar, wie man sie wohl am häufigsten zu beobachten die Gelegenheit hat; es ist nämlich der kleinere Ring von 22 bis

Fig 769.



23° Radius; er ist durch einen horizontalen lichten Streifen durchschnitten, welcher sich oft bis zur Sonne selbst erstreckt. Da, wo dieser Streifen den Lichtring durchschneidet, ist er am hellsten; diese hellen Stellen, welche man zu beiden Seiten der Sonne am äusseren Umfange des Ringes sieht, sind die Nebensonnen; bisweilen erscheint eine solche Ne-

bensonne auch vertical über der Sonne im Gipfel des Ringes; oft erscheint hier aber auch ein Berührungsbogen, wie er in Fig. 769 dargestellt ist. Oft sieht man die Nebensonnen auch ohne die Ringe, oder die Ringe ohne die Nebensonnen. Die Ringe und die Nebensonnen erscheinen ebenfalls nie bei ganz heiterem Himmel, sondern nur wenn derselbe mit einem Schleier überzogen ist.

Man hat die erwähnten Ringe durch eine Brechung des Lichtes in den in der Luft schwebenden Eisnadeln erklärt; wenn die Eisnadeln sechsseitige Säulen sind, so bilden immer je zwei nicht parallele und nicht zusammenstossende Seitenflächen einen Winkel von 60^0 mit einander, die Eisnadeln bilden also gewissermaassen gleichseitige, dreiseitige Prismen, für welche das Minimum der Ablenkung ungefähr 23^0 beträgt. Solche Strahlen nun, welche in den Eisnadeln das Minimum der Ablenkung erlitten haben, sind den wirksamen Strahlen des Regenbogens analog, weil viele Strahlen sehr nahe in derselben Richtung austreten. Diese Hypothese erklärt also zugleich die Bildung des Ringes, seine Grösse und die Anordnung der Farben, welche übrigens sehr blass und beim Mondlicht ganz unmerklich sind.

Der Ring von 46^0 erklärt sich durch die Annahme, dass die Axe der Prismen in der Weise schief steht, dass der rechte Winkel, welchen die Seitenflächen der Säule mit der Basis bilden, der brechende Winkel des Prismas wird. Für ein Eisprisma, dessen brechender Winkel 90^0 beträgt, ist in der That das Minimum der Ablenkung 46^0.

Die Nebensonnenstreifen erklärt man durch die Reflexion der Sonnenstrahlen an den verticalen Flächen der Eisnadeln; er ist da am hellsten, wo er den Ring von 23^0 durchschneidet, weil hier zwei Ursachen stärkerer Erleuchtung zusammenwirken.

Irrlichter nennt man gewöhnlich kleine Flämmchen, welche in 331
sumpfigen Gegenden, Mooren, Kirchhöfen u. s. w., kurz an Orten, wo Fäulniss und Verwesung vor sich gehen, nicht hoch über dem Boden zum Vorschein kommen, eine hüpfende unruhige Bewegung zeigen und bald wieder verschwinden. Während man gewöhnlich von den Irrlichtern als von einer ganz bekannten und erklärten Erscheinung redet, so herrscht doch über dieses Phänomen noch grosse Ungewissheit, indem nicht einmal das Thatsächliche selbst genügend ermittelt ist, was einestheils daher rührt, dass die Irrlichter sehr selten sind und dass die meisten Personen, welche solche sahen, nicht immer im Stande waren, genau zu beobachten und das Gesehene vorurtheilsfrei zu erzählen.

Volta meinte, die Irrlichter beständen aus Sumpfgas (Kohlenwasserstoffgas), welches durch einen elektrischen Funken entzündet würde. Aber woher soll der elektrische Funken kommen? Andere meinen, es sei Phosphorwasserstoffgas, welches sich entzündet, sobald es mit der atmosphärischen Luft in Berührung kommt; alsdann aber würde man einen momentanen, von einer Verpuffung begleiteten Lichtblitz und nicht

ein länger anhaltendes mattes Licht beobachten. Die wahrscheinlichste Ansicht ist noch die, dass die Irrlichter durch ein phosphorhaltiges Wasserstoffgas erzeugt würden, welches nicht eigentlich als Flamme verbrennt, sondern nur schwach phosphorescirt.

332 **Sternschnuppen, Feuerkugeln und Meteorsteine.** Eine allgemein bekannte Erscheinung, welche deshalb auch keiner weiteren Beschreibung bedarf, sind die Sternschnuppen. Durch correspondirende Beobachtungen hat man ermittelt, dass die Höhe der Sternschnuppen 34 bis 35 Meilen beträgt, und dass sie sich mit einer Geschwindigkeit von 4 bis 8 Meilen in der Secunde bewegen.

Eine höchst merkwürdige Erscheinung sind die periodisch wiederkehrenden Sternschnuppenschwärme, welche man in der Zeit vom 12. bis 14. November und um den 10. August (dem Feste des heiligen Laurentius) beobachtet; das letzte Phänomen wird in England schon in einem alten Kirchenkalender, unter dem Namen der feurigen Thränen des heiligen Laurentius, als eine wiederkehrende Erscheinung erwähnt. Einer der bedeutendsten Sternschnuppenschwärme wurde den 12. bis 13. November 1833 in Nordamerika beobachtet, wo die Sternschnuppen fast wie Schneeflocken zusammengedrängt erschienen, so dass innerhalb 9 Stunden 240000 fielen.

Die Feuerkugeln scheinen mit den Sternschnuppen gleichen Ursprungs und gleicher Natur zu sein und sich nur durch die Grösse der Erscheinung von ihnen zu unterscheiden. Bei den grossen Sternschnuppenschwärmen sah man Feuerkugeln unter den Sternschnuppen.

Die Feuerkugeln zerplatzen unter grossem Getöse und lassen dann Steinmassen herabfallen, welche unter dem Namen der Meteorsteine oder der Aërolithen bekannt sind. Auch bei Tage hat man solche Meteorsteine aus kleinen graulichten Wolken ebenfalls unter starkem Getöse herabfallen sehen.

Die frisch gefallenen Meteorsteine sind noch heiss und in Folge der Geschwindigkeit des Fallens mehr oder minder tief in den Boden eingedrungen.

Gegen Ende des vorigen Jahrhunderts war man sehr geneigt, das Herabfallen von Steinmassen aus der Luft für ein Mährchen zu erklären; seitdem aber haben sich Meteorsteinfälle ereignet, welche von mehreren Personen beobachtet und durch sachkundige Männer gehörig constatirt wurden. Dahin gehört besonders der Meteorsteinfall am 26. April 1803 bei Aigle im Departemant de l'Orne, welchen Biot untersuchte, und der am 22. Mai 1808 zu Stannern in Mähren. Am 13. November 1835 (also zur Zeit der Sternschnuppenperiode) wurde im Departement Ain durch einen Aërolithen ein Haus angezündet.

Die Meteorsteine haben eine eigenthümliche Physiognomie, wodurch sie sich von allen irdischen Fossilien unterscheiden, dennoch aber sind sie unter einander wieder so verschieden, dass Chladni, welcher sich so

viel mit diesem Gegenstande beschäftigte, es für schwierig hielt, einen allgemeinen Charakter anzugeben; besonders charakteristisch ist aber doch wohl der Gehalt an gediegenem Eisen und eine pechartig glänzende, zuweilen geäderte Rinde, welche fast nie fehlt. Eine weitere Beschreibung würde uns zu tief in mineralogische Details führen.

Man hat an verschiedenen Orten Eisenmassen auf dem Boden gefunden, welche dem Gebirgssystem jener Gegenden ganz fremd sind, aber mit notorischen Meteorsteinen die grösste Aehnlichkeit haben, und ist deshalb berechtigt, auch diese für Aërolithen zu halten.

Die Masse der Meteorsteine ist oft sehr gross, man hat deren gefunden, welche mehrere Pfunde bis 400 Centner wogen.

Es ist kaum mehr zu bezweifeln, dass die Sternschnuppen, Feuerkugeln und Meteorsteine kosmischen Ursprungs, dass sie höchst wahrscheinlich Massen sind, welche wie die Planeten um die Sonne kreisen und, in die Anziehungssphäre der Erde gerathen, herabfallen. Die Feuer- und Lichterscheinung erklärt sich am einfachsten durch die Annahme, dass diese kleinen Weltkörper mit einer Atmosphäre brennbarer Gase umgeben sind, welche sich beim Eintritte in die sauerstoffhaltige Atmosphäre der Erde entzündet. Wenn man annimmt, dass ausser unzähligen, einzeln um die Sonne kreisenden Massen der Art ganze Schwärme derselben einen Ring um die Sonne bilden, dass die Ebene eines solchen Ringes an einer bestimmten Stelle die Erdbahn schneidet, so erklären sich dadurch die periodischen Sternschnuppenfälle.

Fünftes Capitel.

Von der atmosphärischen Elektricität und dem Erdmagnetismus.

333 **Atmosphärische Elektricität.** Als Wall zum ersten Male an einem grossen geriebenen Harzcylinder einen etwas lebhaften Funken und ein stärkeres Geräusch wahrnahm, sprach er alsbald die Idee aus, dass dieser Funken und dieses Knacken den Blitz und den Donner darzustellen schienen. Den Beweis für die Richtigkeit dieser Analogie hat aber erst Franklin geliefert, welcher vorher schon mehrere elektrische Entdeckungen, besonders über die Leydener Flasche und das Vermögen der Spitzen gemacht hatte. Er kam auf den glücklichen Gedanken, die Elektricität in den Gewitterwolken selbst aufzusuchen; er schloss nämlich, dass Metallspitzen, auf hohen Gebäuden aufgestellt, die Elektricität der Wolken aufsaugen müssten. Da sich in Philadelphia damals kein für seine Zwecke passender Thurm befand, so machte Franklin seine ersten Versuche mit einem Drachen, den er steigen liess, als sich Wolken am Himmel zeigten, von denen sich elektrische Effecte hoffen liessen. Anfangs zogen mehrere Wolken wirkungslos vorüber; endlich fingen die Fasern der Schnur an, sich aufzustellen, und es liess sich ein Geräusch hören. Dadurch ermuthigt, hielt Franklin den Finger gegen das Ende der Schnur, und siehe da, ein Funken sprang über, dem bald noch mehrere andere folgten.

Franklin hat seinen Versuch im Jahre 1752 angestellt, er wurde überall mit demselben Erfolge wiederholt. De Romas zu Nerac war, durch den ersten Gedanken Franklin's geleitet, ebenfalls auf die Idee gekommen, einen Drachen statt der hochgestellten Spitzen anzuwenden. Ohne von Franklin's Resultaten Kunde zu haben, erhielt er im Juni 1753 sehr kräftige Zeichen von Elektricität, weil er die glückliche Idee hatte, in der Schnur ihrer ganzen Länge nach einen feinen Metalldraht

anzubringen. Im Jahre 1757 wiederholte de Romas seine Versuche und erhielt Funken von überraschender Grösse.

Diese Versuche beweisen vollständig, dass der Blitz nur ein elektrischer Funken ist.

Elektricität während der Gewitter. Wenn man den elektri- 334
schen Zustand der Wolken untersucht, welche nach und nach über den Drachen hinziehen, so erkennt man, dass sie bald mit positiver oder negativer Elektricität geladen sind, bald sich aber auch im natürlichen Zustande befinden. Obgleich wir über die Vertheilung der Elektricität in den Wolken nichts wissen, so ist doch wohl die Anziehung und Abstossung der ungleich oder gleich elektrisirten Wolken die Ursache der aussergewöhnlichen Bewegungen, welche man während der Gewitter am Himmel beobachtet. Während dieser allgemeinen Bewegung der Atmosphäre sieht man Blitze den Himmel durchzucken und hört den Donner rollen. Diese beiden Erscheinungen wollen wir nun näher betrachten.

Manchmal sieht man den Blitz aus einer Wolke hervorbrechen und den Himmel weithin durchfurchen. Wenn man von hohen Bergen herab diese Erscheinung zu seinen Füssen beobachtet, so kann man ihre Ausdehnung besser schätzen; alle Beobachter stimmen darin überein, dass sie unter solchen Umständen Blitze gesehen haben, welche wenigstens eine Meile lang waren. Man weiss auch, dass aus derselben Wolke nach einander mehrere Blitze hervorsprühen. Endlich ist bekannt, dass die Blitze meistens einen Zickzack bilden; diese Form ist dem Blitze und dem elektrischen Funken gemein.

Um die Länge des Blitzes zu erklären, muss man demnach wohl annehmen, dass auf dem Wege, welchen der Blitz nimmt, die Dampftheilchen schon durch Vertheilung elektrisirt sind, und dass endlich, wenn der Blitz erscheint, sich das gestörte Gleichgewicht von Schicht zu Schicht wieder herstellt, dass gewissermaassen nur Funken von Theilchen zu Theilchen überspringen, dass aber die elektrische Flüssigkeit nicht den ganzen Weg zwischen den weit entfernten Wolken durchläuft.

Der Donner entsteht durch die Vibrationen der gewaltsam erschütterten Luft. Man sieht das Licht gleichzeitig auf der ganzen Bahn des Blitzes, und auf der ganzen Strecke entsteht auch gleichzeitig der Knall; da sich aber der Schall langsamer verbreitet als das Licht, da er in einer Secunde nur 1000 Fuss zurücklegt, so sieht man den Blitz eher als man den Donner hört; ein Beobachter, welcher sich nahe an dem einen Ende der Bahn des Blitzes befindet, wird den in allen Punkten gleichzeitig entstehenden Ton nicht gleichzeitig hören. Nehmen wir an, der Blitz sei 10,000 Fuss lang und der Beobachter befinde sich in der Verlängerung seiner Bahn, so wird der Schall von dem entfernteren Ende des Blitzes um 10 Secunden später ankommen, als von dem zunächst gelegenen Ende. Da demnach der Schall von den verschiedenen Stellen des Blitzes nur nach und nach zum Ohre des Beobachters gelangt, so hört er also nicht

einen momentanen Knall, sondern, je nach der Länge des Blitzes und seiner Stellung gegen die Bahn desselben, ein länger oder kürzer dauerndes Rollen des Donners, welches wohl noch durch ein Echo in den Wolken verstärkt wird.

Nicht allein bei Gewitterwolken, sondern auch bei heiterem Himmel kann man mit Hülfe guter Elektroskope die Existenz einer elektrischen Spannung in der Atmosphäre nachweisen.

Ueber den Ursprung der atmosphärischen Elektricität wissen wir so nichts Sicheres, obgleich schon mancherlei Hypothesen über diesen Gegenstand aufgestellt worden sind.

335 **Wirkungen des Blitzes auf der Erde.** Wenn eine elektrische Wolke über dem Erdboden schwebt, so wird sie vertheilend auf denselben wirken; die der Wolke gleichnamige Elektricität wird abgestossen, die ungleichnamige aber wird angezogen und vorzugsweise in allen Leitern und Halbleitern angehäuft werden, die sich mehr oder weniger über die Erde erheben.

Eine allmälige Entladung der elektrischen Wolke oder ein Weiterziehen derselben hat zur Folge, dass auch die durch Vertheilung angehäuft gewesene Elektricität sich allmälig verliert, während eine plötzliche Ausgleichung, ein Rückschlag erfolgt, wenn die elektrische Wolke plötzlich, etwa durch Ueberschlagen eines Blitzes, auf eine andere Wolke entladen wird.

Wenn aber die elektrische Wolke nahe und die durch sie bewirkte elektrische Ladung irgend eines unter ihr auf der Erdoberfläche befindlichen Gegenstandes stark genug geworden ist, so schlägt der Blitz direct zwischen ihnen über. Alles, was sich über die Ebene erhebt, ist vorzugsweise dem Blitzschlage ausgesetzt; daher kommt es, dass so oft Thiere mitten in der Ebene erschlagen werden; unter sonst gleichen Umständen ist man jedoch auf einem nichtleitenden Boden sicherer als auf einem gutleitenden.

Bäume sind schon durch die Säfte, welche in ihnen circuliren, gute Leiter; wenn eine Gewitterwolke über ihnen hinzieht, so findet in den Bäumen eine starke Anhäufung von Elektricität statt, und deshalb sagt man mit Recht, dass Bäume den Blitz anziehen; man darf deshalb während eines Gewitters unter Bäumen, namentlich unter einsam stehenden Bäumen, ja selbst unter einsam in der Ebene stehenden Sträuchen keinen Schutz suchen. Warnende Beispiele bietet unter anderen ein Gewitter, welches am 10. Juli 1855 zwischen 7 und 9 Uhr Morgens die ganze badische Rheinebene und einen Theil des Schwarzwaldes überzog. Während desselben erschlug der Blitz bei Thunsel oberhalb Freiburg einen Ackerknecht sammt seinen beiden Pferden auf dem Heimwege; im Amte Durlach suchten vier Personen unter einem 40 Fuss hohen Birnbaume Schutz vor dem Regen; ein Blitzschlag, welcher den Baum traf, tödtete zwei derselben, während die beiden anderen gelähmt wurden. In der

Nähe von Bruchsal endlich schlug der Blitz in eine Torfhütte, in welche sich mehrere Torfgräber geflüchtet hatten, und tödtete zwei derselben.

Gebäude sind in der Regel aus Metall, Steinen und Holz zusammengesetzt. Wegen der ungleichen Leitungsfähigkeit dieser Substanzen ist auch die Wirkung der Gewitterwolken auf dieselben sehr verschieden. Wenn der Blitz einschlägt, so trifft er vorzugsweise die besseren Leiter, mögen sie nun frei oder durch schlechtere Leiter eingehüllt sein; die vertheilende Kraft der atmosphärischen Elektricität wirkt auf den in die Wand eingeschlagenen Nagel eben so gut, wie auf die frei in die Luft ragende Windfahne.

Die mechanischen Wirkungen des Blitzes sind in der Regel sehr heftig. Wenn der Blitz in ein Zimmer einschlägt, so werden die Möbel umgestürzt und zertrümmert, Metallstücke werden aus der Wand gerissen und fortgeschleudert. Bäume werden vom Blitz gespalten und zersplittert, gewöhnlich aber kann man vom Gipfel bis zum Boden eine mehrere Centimeter breite und tiefe Furche verfolgen, die abgeschälte Rinde und die ausgerissenen Späne findet man weit weggeschleudert, und am Fusse des Baumes sieht man oft ein Loch, durch welches das elektrische Fluidum sich in den Boden verbreitete.

Die physikalischen Wirkungen des Blitzes beweisen eine mehr oder minder bedeutende Temperaturerhöhung. Wenn der Blitz ein Strohdach, trockenes Holz, ja grüne Bäume trifft, so findet eine Verkohlung, meistens sogar eine Entzündung statt; bei Bäumen findet man jedoch seltener Spuren von Verkohlung. Metalle werden durch den Blitz stark erhitzt, geschmolzen oder verflüchtigt. Wiederholte Blitzschläge bringen auf hohen Bergen sichtbare Spuren von Schmelzung an den Felsen hervor.

Die Blitzableiter bestehen aus einer zugespitzten Metallstange, 336
welche in die Luft hineinragt, und einem guten Leiter, welcher die Stange mit dem Boden verbindet. Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein, wenn sie ihrem Zweck entsprechen sollen:

1) Die Stange muss in eine feine Spitze zulaufen.

2) Die Verbindung mit dem Boden muss vollkommen leitend sein, von der Spitze bis zum unteren Ende der Leitung darf keine Unterbrechung stattfinden.

3) Alle Theile des Apparates müssen die gehörigen Dimensionen haben.

Wenn eine Gewitterwolke über dem Blitzableiter schwebt, so werden die verbundenen Elektricitäten des Stabes und der Leitung zerlegt, diejenige Elektricität wird abgestossen, welche mit der der Wolke gleichnamig ist, und sie kann sich frei im Boden verbreiten; die entgegengesetzte Elektricität aber wird nach der Spitze gezogen, wo sie frei in die Luft ausströmen kann. Auf diese Weise ist keine Anhäufung von Elektricität im Blitzableiter möglich. Während so der Blitzableiter in Thätigkeit ist, während ihn die entgegengesetzten Elektricitäten in ent-

gegengesetzter Richtung durchströmen, kann man sich ihm ohne Gefahr nähern, man kann ihn ohne Gefahr berühren; denn wo keine elektrische Spannung vorhanden ist, ist auch kein Schlag zu befürchten.

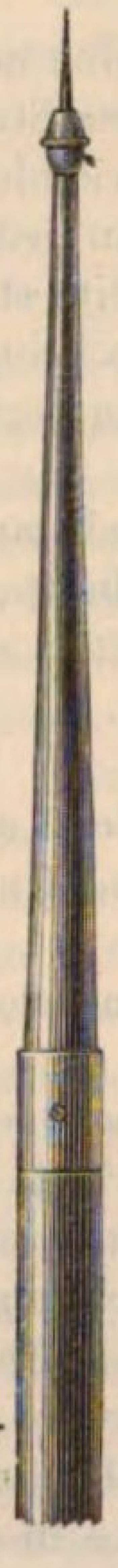
Nehmen wir nun an, eine der drei zuerst genannten Bedingungen sei nicht erfüllt, die Spitze sei stumpf, die Leitung zum Boden sei unvollkommen oder unterbrochen, so ist klar, dass eine Anhäufung von Elektricität im Blitzableiter nicht allein möglich, sondern auch, dass sie unvermeidlich ist; er bildet dann einen geladenen Conductor, in welchem eine ungeheure Menge von Elektricität angehäuft sein kann; man kann bald schwächere, bald stärkere Funken aus ihm ziehen.

Wenn nur die Spitze stumpf ist, so kann der Blitz leichter einschlagen, allein er wird der Leitung folgen, ohne dem Gebäude zu schaden.

Wenn die Leitung unterbrochen oder die Verbindung mit dem Boden unvollkommen ist, so kann der Blitz ebenfalls einschlagen, er wird sich aber auch seitwärts auf andere Leiter verbreiten und eben solche Zerstörungen anrichten, als ob gar kein Blitzableiter vorhanden wäre.

Noch mehr: ein Blitzableiter, welcher diesen Fehler hat, ist sehr gefährlich, selbst wenn der Blitz nicht einschlägt; denn wenn an irgend einer Stelle der Leitung die Elektricität hinlänglich angehäuft ist, so kann ein Funken seitwärts überschlagen, welcher irgend Gegenstände zertrümmern oder entzünden kann.

Fig. 770.



$\frac{1}{8}$

Fig. 770 stellt die Spitze eines Blitzableiters dar, wie sie nach Gay-Lussac's Vorschrift in Frankreich meistens ausgeführt werden. Auf einer ungefähr 20 bis 24 Fuss hohen Eisenstange ist ein 2 Fuss langer, etwas conischer Messingstab aufgeschraubt, in welchen oben mittelst Silber eine ungefähr $1^1/_2$ Zoll lange Platinnadel eingelöthet ist.

In Deutschland ist die eiserne Stange selbst zugespitzt, die Spitze ist aber vergoldet, damit sie nicht durch Oxydation abgestumpft werde.

Die oben zugespitzte Saugstange des Blitzableiters muss über der höchsten Stelle des zu schützenden Gebäudes aufgerichtet werden. Mit dem Boden wird sie durch eiserne Stangen oder durch hinlänglich dicken Kupferdraht (am zweckmässigsten ist es, zwei oder drei 1 Linie dicke Kupferdrähte zu einem Drahtseile zu vereinigen) in leitende Verbindung gesetzt.

Es ist wesentlich, dass diese Ableitung möglichst vollständig sei. Wenn irgend ein Brunnen in der Nähe ist, so wird die metallische Leitung bis in das Wasser desselben geführt; wenn aber kein Wasser in der Nähe ist, so sollte die Leitstange wenigstens durch einen langen, mit Kohlenpulver gefüllten Canal zu einer möglichst feuchten Stelle des Bodens geführt werden.

Wie sehr der Blitzschlag guten Leitungen folgt, hatte man z. B. bei einem heftigen Gewitter am 9. Juni 1849 zu Basel zu beobachten Gelegenheit. Der Blitz schlug in den Blitzableiter eines Wohnhauses, verfolgte die Leitung desselben bis in den Boden, sprang aber alsdann auf eine nahe liegende gusseiserne Brunnenleitung über; auf mehr als $^1/_4$ Stunde Wegs wurden alle gusseisernen Röhrenstücke da, wo sie in einander gesteckt und mit Pech gedichtet waren, zerschmettert, so dass alle durch diese Leitung gespeisten Brunnen zu laufen aufhörten.

Die Elektricität, welche in reichlichem Maasse durch die Spitze ausströmt, wird durch die Gewitterwolke angezogen, und neutralisirt, daselbst angekommen, einen Theil der ursprünglichen Elektricität dieser Wolke. Wenn also eine Gewitterwolke dem Blitzableiter nahe genug ist, um vertheilend wirken zu können, so wird auch sogleich ihre elektrische Kraft durch das Zuströmen der entgegengesetzten Elektricität aus der Spitze geschwächt. Je mehr sich die Wolke nähert, desto stärker wirkt ihre vertheilende Kraft, desto mehr wird sie aber auch durch das Zuströmen der entgegengesetzten Elektricität neutralisirt.

Es versteht sich von selbst, dass die Spitze des Blitzableiters, wenn derselbe wirksam sein soll, nicht von benachbarten Leitern überragt werden darf. Ferner müssen alle bedeutenden Metallmassen der zu schützenden Gebäude mit dem Blitzableiter in leitende Verbindung gebracht werden.

Die Erfahrung zeigt, dass ein mit allen Vorsichtsmaassregeln angelegter Blitzableiter von den angegebenen Dimensionen einen Umkreis von ungefähr 80 Fuss Radius schützt.

Da es also von der grössten Wichtigkeit ist, dass die metallische Leitung von der Spitze des Ableiters bis zum Boden ununterbrochen sei, so ist es wünschenswerth, sich davon überzeugen zu können, dass diese Bedingung erfüllt sei. In neuerer Zeit hat man dazu den galvanischen Strom angewandt. Führt man nämlich von dem einen Pole einer galvanischen Kette einen Kupferdraht zum oberen, vom anderen Pole einen solchen zum unteren Ende des Blitzableiters, so ist derselbe in den Schliessungsbogen der Kette eingeschaltet. Ein an passender Stelle in diesen Schliessungsbogen eingeschaltetes Galvanometer muss unter diesen Umständen den Strom anzeigen, wenn die Leitung nicht unterbrochen ist.

Die magnetischen Curven. Nach dem, was bereits im Para- 337
graph 10 besprochen wurde, verhält sich die ganze Erdkugel wie ein grosser Magnet. An jedem einzelnen Orte der Erdoberfläche ist die magnetische Wirkung des Erdmagnetismus durch die Declination, die Inclination und die magnetische Intensität charakterisirt. Nachdem nun diese Grössen für viele möglichst weit von einander entfernte Orte bestimmt worden sind, erhält man ein Bild von der Vertheilung des Magnetismus auf der Erde, wenn man nach Art der Isothermen magnetische Curven auf Erdkarten oder auf Erdgloben aufträgt.

Man unterscheidet dreierlei Arten magnetischer Curven, nämlich:

1) die **isogonischen Linien**, Linien gleicher magnetischer Declination,

2) die **isoclinischen Linien**, Linien gleicher magnetischer Inclination und

3) die **isodynamischen Linien**, Linien gleicher magnetischer Intensität.

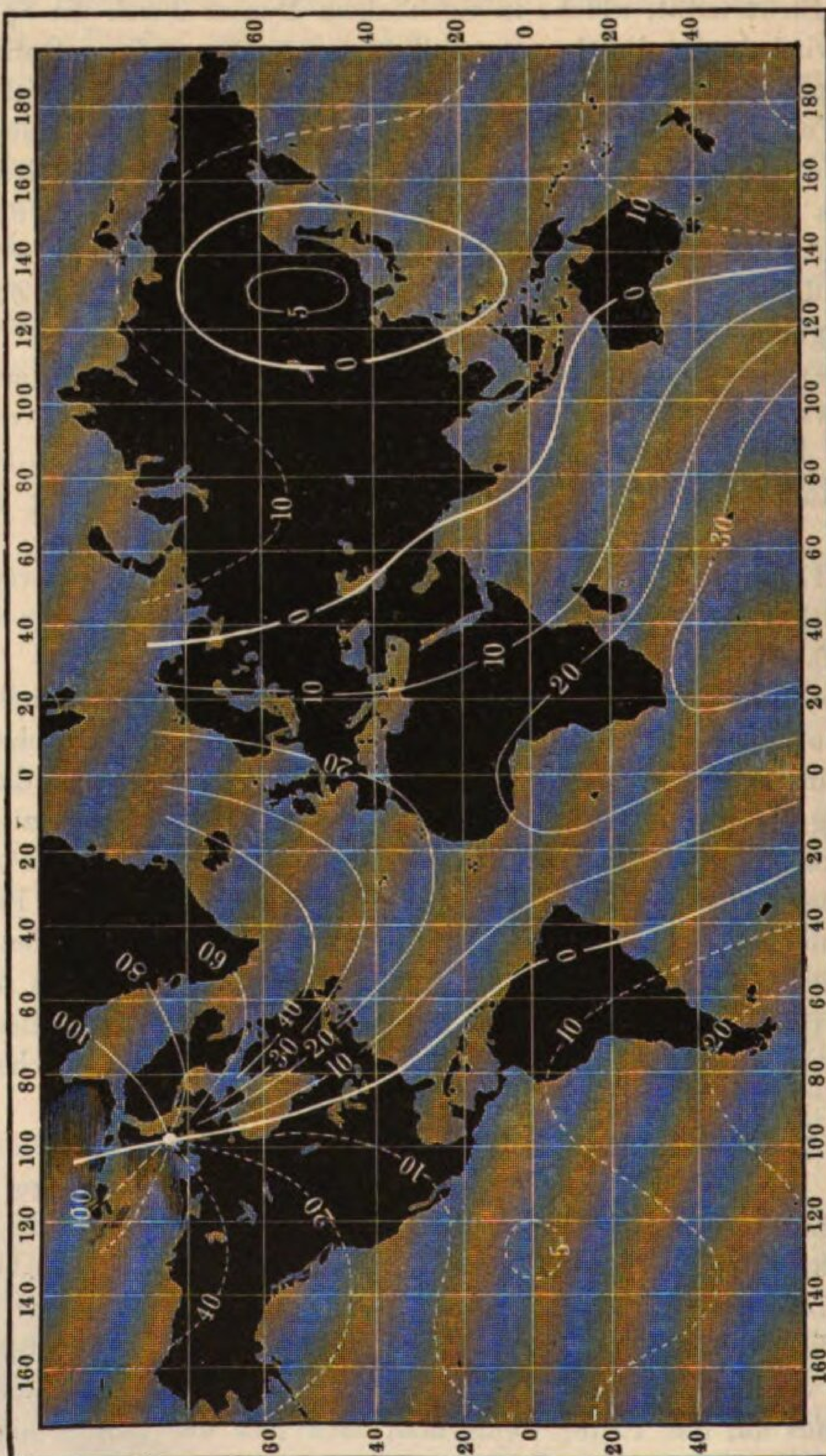


Fig. 770.

Die Fig. 770 ist eine **Declinationskarte**, d. h. sie stellt den Verlauf der **isogonischen Linien** dar und zwar zwischen dem 80. Grade nördlicher und dem 60. Grade südlicher Breite. Die ausgezogenen Curven entsprechen westlicher, die punktirten aber östlicher Declination. Auf den mit 0 bezeichneten Curven zeigt die horizontale Magnetnadel genau nach Norden.

Fig. 771 stellt den Verlauf der **isoclinischen Linien** dar.

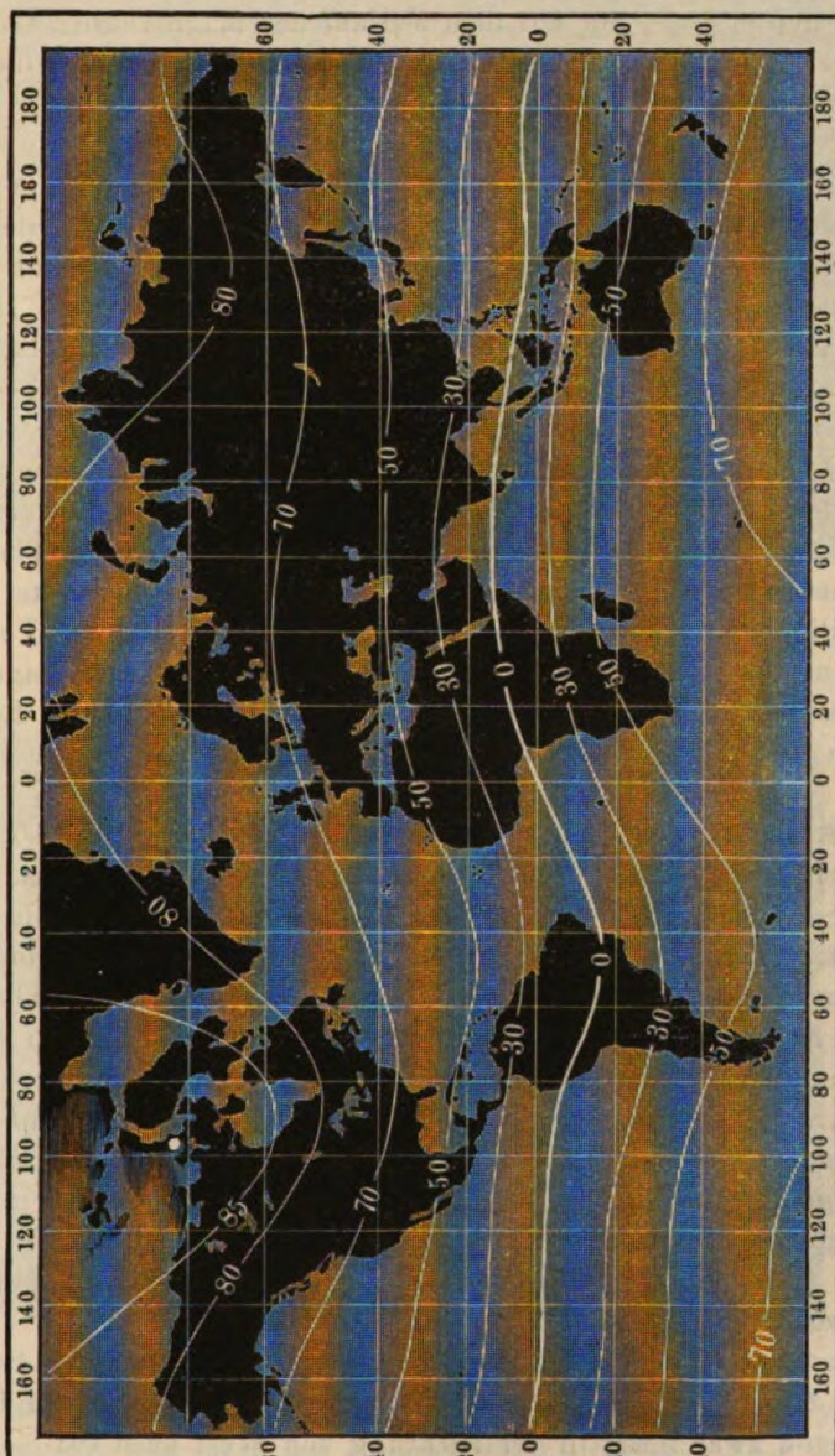


Fig. 771.

Der mit 0 bezeichnete magnetische Aequator in Fig. 771 ist etwas stärker gezogen und dadurch vor den übrigen isoclinischen Curven ausgezeichnet. Nördlich von demselben senkt sich das Nordende, südlich das Südende der Inclinationsnadel.

Die magnetischen Pole der Erde sind diejenigen Punkte, für welche sich die Inclinationsnadel senkrecht stellt. Der magnetische Nordpol, welchen Capitain Ross auf der Insel Melville wirklich erreichte, findet sich auf den Karten Fig. 770 und Fig. 771. Der magnetische Südpol, dessen Lage nur aus dem Verlauf der magnetischen Curven auf der Südhälfte der Erde erschlossen werden kann, findet sich nicht mehr auf diesen Karten.

Wäre der Erdmagnetismus regelmässig vertheilt, so müsste der magnetische Aequator einen grössten Kreis bilden, ähnlich wie die Ekliptik am Himmelsgewölbe, und die beiden magnetischen Pole der Erde müssten einander diametral gegenüber stehen. Aus Fig. 771 erkennt man den unregelmässigen Verlauf des magnetischen Aequators, woraus sich denn auch die unregelmässige Vertheilung des Erdmagnetismus ergiebt, in Folge deren denn auch die beiden magnetischen Pole der Erde keineswegs einander diametral gegenüberstehen.

Nach dem, was bereits im Paragraph 14 über die secularen Variationen des Erdmagnetismus gesagt wurde, ist klar, dass der Verlauf der magnetischen Curven sich allmälig ändern müsse, und in der That zeigen die magnetischen Karten vom Anfang des vorigen Jahrhunderts ein ganz anderes Bild als die obigen Karten, welche für das Jahr 1860 construirt sind. Aus der allmäligen Veränderung in der Lage der magnetischen Curven ergiebt sich auch, dass die magnetischen Pole der Erde nach und nach ihre Stelle ändern müssen.

338 **Das Nordlicht.** Wir haben bereits im Paragraph 15 gesehen, dass unter den Ursachen, welche unregelmässige Schwankungen, Störungen, der Magnetnadel bewirken, das Nordlicht eine wesentliche Stelle einnimmt. In unseren Gegenden ist das Nordlicht eine ziemlich seltene Erscheinung; in höheren Breiten aber, in den nördlichen Theilen von Europa, Asien und Amerika, sind die Nordlichter nicht allein weit häufiger, sondern auch weit prächtiger.

Fig. 772 stellt das Nordlicht dar, wie es bei uns gewöhnlich wahrgenommen wird, wenn es seine volle Ausbildung erreicht; ein aus lichten Streifen gebildeter Bogen, dessen Ränder verwaschen erscheinen und dessen Enden auf dem Horizont aufzustehen scheinen.

Der Gipfel dieses Bogens steht immer nahe in der Richtung des magnetischen Meridians.

In seinem Glanze zeigt der Bogen eine undulatorische Bewegung, d. h. der Glanz der Strahlen wächst der Reihe nach von einem Fuss zum anderen und zwar meist in der Richtung von West nach Ost.

In höheren Breiten steigen die Nordlichter schon hoch über den

Horizont herauf, ja sie erreichen das Zenith und gehen selbst über dasselbe hinaus. Manchmal verlässt dann einer der Füsse, oder auch beide, den Horizont, und es bildet sich dann die sogenannte Krone. Im hohen Norden

Fig. 772.



Fig. 773.



erscheint der Lichtbogen oft als ein langes Strahlenband, Fig. 773, welches sich windet und biegt wie eine Schlange oder eine vom Winde bewegte Fahne; die Strahlen, welche nun eine grosse Lichtstärke erlangt

haben, färben sich an der Basis roth, in der Mitte grün, während der übrige Theil ein blassgelbes Licht behält.

Die Krone verschwindet in der Regel schon nach einigen Minuten.

Nicht immer bildet sich das Nordlicht vollständig, sondern oft nur theilweise aus, indem bald die Krone, bald die Bogen unvollständig sind und die Regelmässigkeit der Erscheinung in mannigfacher Weise durch Wolken gestört wird. Oft bemerkt man gegen Norden hin die Spuren eines Nordlichts als einen ungewöhnlichen verschwommenen Lichtschimmer.

Aehnliche Erscheinungen sind von den Seefahrern auch in den Polargegenden der südlichen Hemisphäre beobachtet worden; man kann sie Südlichter nennen und das Phänomen der beiden Hemisphären unter dem Namen des Polarlichtes zusammenfassen.

Der Umstand, dass die Nordlichter stets in der Richtung des magnetischen Meridians gesehen werden, dass bei ihrem Erscheinen die Declinationsnadel in ungewöhnlich starkes Schwanken geräth, deutet darauf hin, dass das Nordlicht mit dem Erdmagnetismus und den um die Erde kreisenden elektrischen Strömen in Beziehung steht; weshalb sie denn auch Humboldt sehr treffend als magnetische Gewitter bezeichnete.

Die Erscheinung der Polarlichter ist offenbar einer in der Nähe der magnetischen Pole stattfindenden elektrischen Ausströmung durch die höheren verdünnten Luftregionen zuzuschreiben.

Nachträge zum zweiten Bande.

Zu §. 180. Der englische Mechaniker **Wild** hat dadurch bedeutende Wirkungen erzielt, dass er den Strom einer Magnetelektrisirmaschine nicht direct benutzte, sondern dass er ihn zur **Herstellung eines Elektromagnets** verwendete, zwischen dessen Polen eine zweite Inductionsspirale rotirte, mit deren Strom nun experimentirt wurde. Die bei dem **Wild**'schen Apparat benutzten Inductionsspiralen waren nach dem **Siemens**'schen System (Seite 546) construirt.

Fig. 774 (a. f. S.) stellt **Wild**'s magneto-elektrische Maschine dar. Der erste Inductor besteht aus 12 bis 16 Hufeisenmagneten P, deren jeder 1,5^k schwer ist und 10^k tragen kann. Zwischen den Polen dieser Magnete sind der Länge nach zwei Armaturen $C\,C$ von weichem Eisen angebracht, welche durch eine Messingplatte O getrennt sind. Die durch messingene Querstäbe mit der Messingplatte zu einem Ganzen fest verbundenen Armaturen sind, wie Fig. 775 erläutert, ihrer Länge nach durchbohrt und in der cylindrischen Höhlung befindet sich eine **Siemens**'sche Spirale n von 6^{cm} Durchmesser. Die beiden Enden des 17 Meter langen Drahtes dieser Spirale sind vorn zu einem Commutator geführt, dessen Einrichtung aus Fig. 776 zu ersehen ist.

Durch diesen Commutator werden die durch die Rotation der Spirale (25 Umdrehungen in der Secunde) erzeugten Ströme stets in gleicher Richtung den Messingsäulchen a und b zugeführt, aus welchen sie in die Umwindungen des grossen Elektromagnets B eintreten. Der Elektromagnet B wird durch zwei Platten von Schmiedeeisen gebildet, deren jede 91^{cm} lang, 66^{cm} hoch, 3^{cm} dick und mit 500 Meter übersponnenen Kupferdrahtes umwunden ist. Das obere Ende dieser beiden vertical stehenden Eisenplatten ist durch eine horizontale Eisenplatte verbunden, so dass sie zusammen einen mächtigen Elektromagneten bilden.

An ihrem unteren Ende sind die Eisenkerne des Elektromagnets B mit den eisernen Armaturen K versehen, welche durch die Messingplatte

Fig. 774.

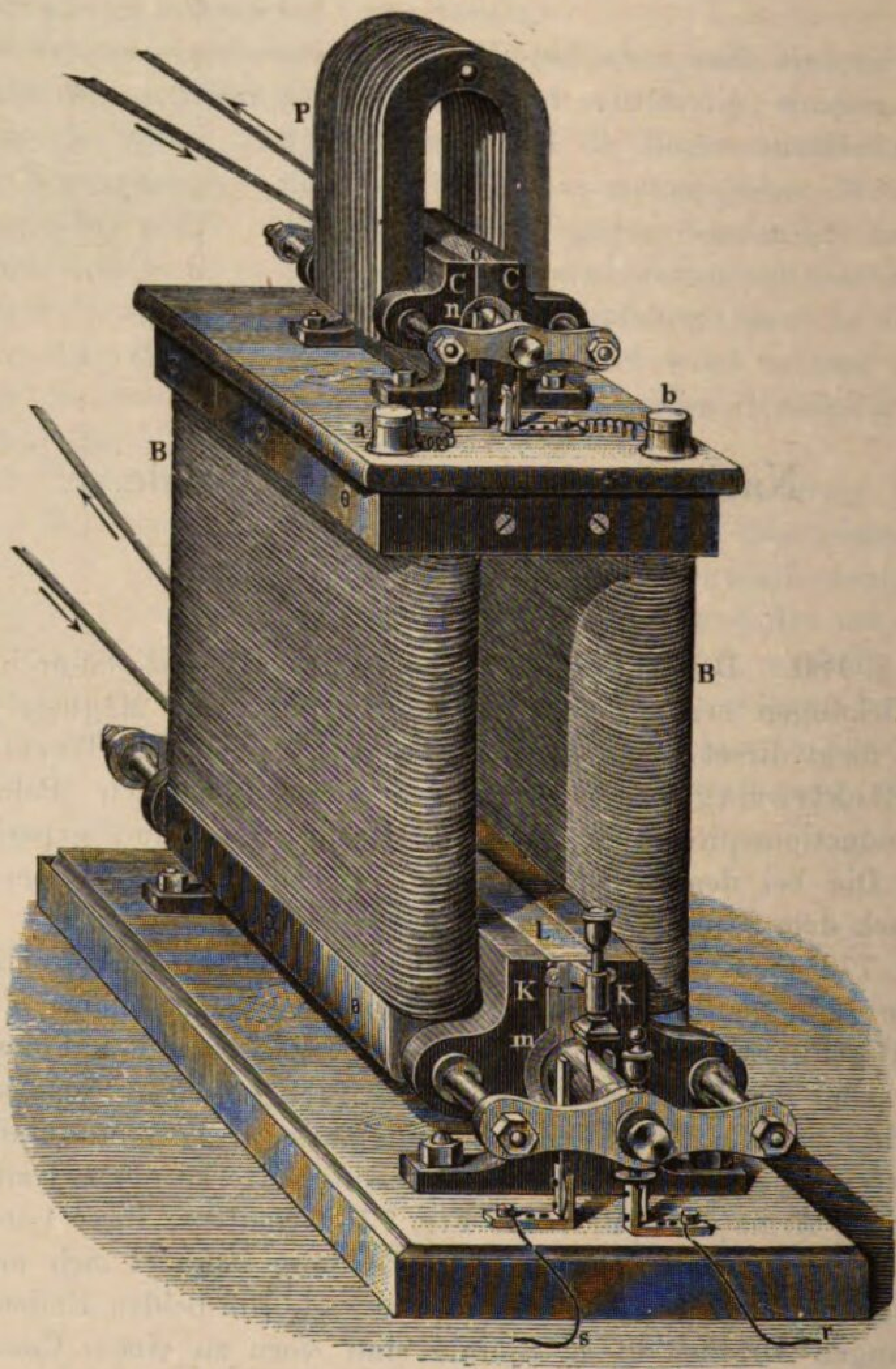


Fig. 775.

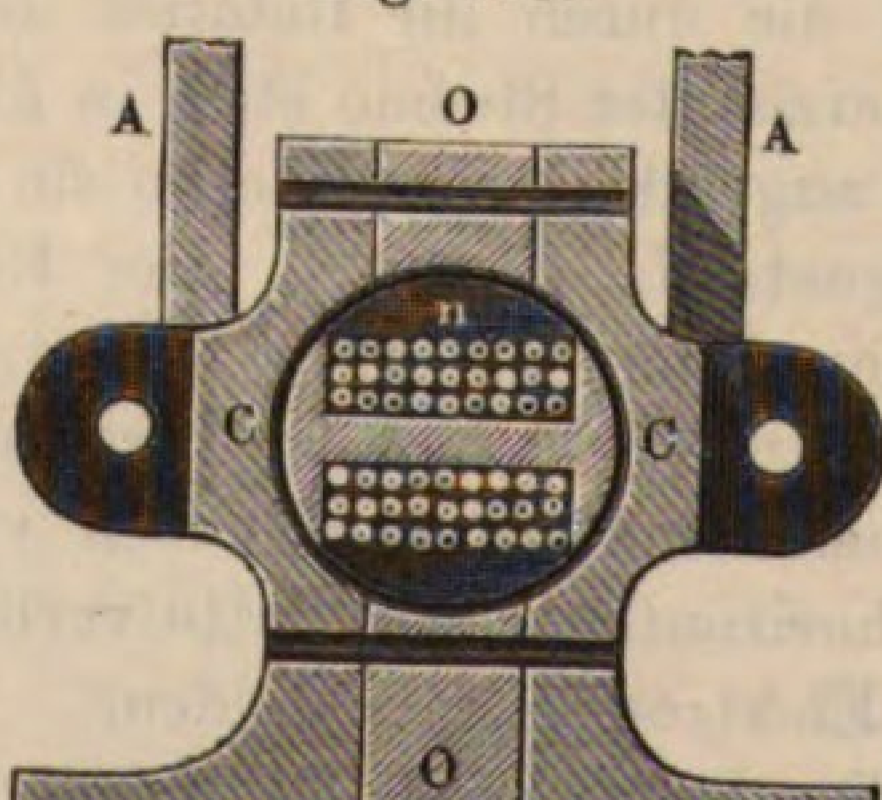
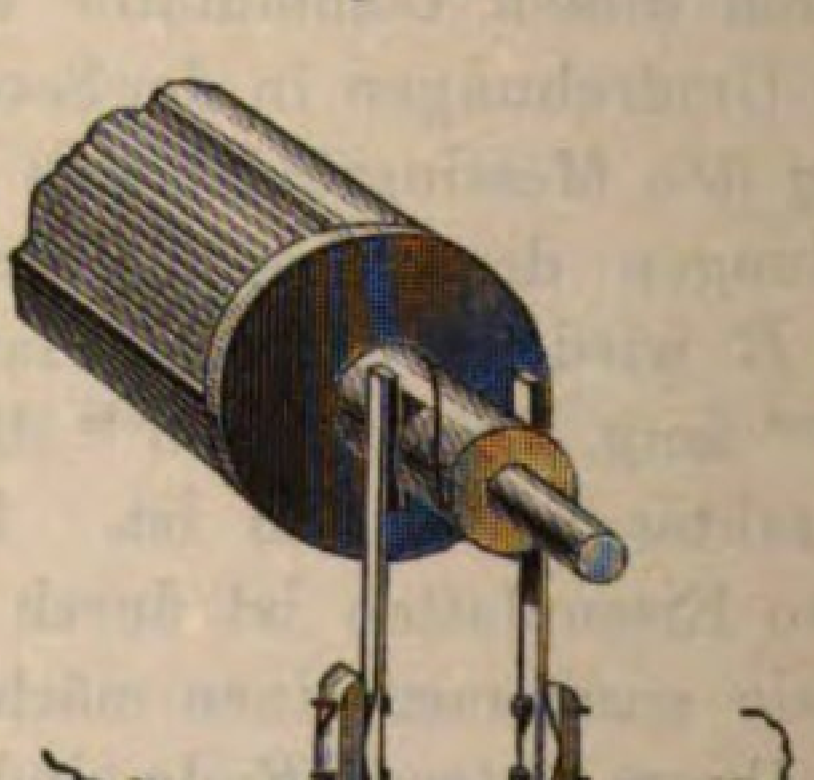


Fig. 776.



L von einander getrennt ihrer Länge nach durchbohrt sind, so dass in dieser Höhlung eine zweite aus 30 Meter übersponnenen Kupferdrahtes gebildete Siemens'sche Spirale *m* von 1 Meter Länge und 18^{cm} Durchmesser Platz findet, welche, wenn der Apparat in gehörigem Gang ist, 28 Umdrehungen in der Secunde macht.

Da diese zweite Inductionsspirale *m* unter dem Einfluss von Magnetpolen K rotirt, welche bei weitem kräftiger sind als die Pole C des Stahlmagnets P, so ist auch der in *m* inducirte Strom, welcher durch Vermittelung eines Commutators stets in gleicher Richtung aus dem Apparat austritt, bei weitem stärker, als der unmittelbar durch *n* gelieferte, so dass er im Stande ist, ziemlich lange und dicke Drähte glühend zu machen. Die Umdrehung der beiden Siemens'schen Inductionsspiralen *m* und *n* wird durch eine Dampfmaschine bewerkstelligt.

Um durch mechanische Arbeit starke elektrische Ströme zu erzeugen, brachte Siemens ein neues Princip in Anwendung. — Wenn man die Polenden zweier Elektromagnete, deren Windungen Theile desselben Schliessungskreises bilden, einander nähert oder entfernt, so entsteht je nach Umständen eine Schwächung oder eine Verstärkung des von der Säule gelieferten Stromes. Ziehen sich die Pole an, so entsteht eine Schwächung des Stromes, wenn sie einander genähert, eine Verstärkung, wenn sie von einander entfernt werden und umgekehrt. In einem elektromagnetischen Motor muss daher, wie wir bereits in §. 137 gesehen haben, eine Schwächung der Stromstärke eintreten, wenn die beweglichen Elektromagnete unter dem Einfluss der feststehenden rotiren, dagegen muss eine Verstärkung des ursprünglichen Stromes stattfinden, wenn der Apparat durch mechanische Kräfte in entgegengesetzter Richtung gedreht wird.

Da die Verstärkung des Stromes eine Verstärkung des Magnetismus der Elektromagnete, mithin auch eine Verstärkung des inducirten Stromes hervorbringt, so wächst unter günstigen Umständen dieser Strom in rascher Progression bis zu einer solchen Höhe, dass man die Säule, welche den ursprünglichen Strom lieferte, ganz ausschalten kann, ohne eine Verminderung der Stromstärke wahrzunehmen. Unterbricht man die Drehung, so verschwindet der Strom und der feststehende Elektromagnet verliert seinen Magnetismus bis auf einen geringen Rest, welcher genügt, um bei wieder eintretender Drehung das progressive Anwachsen des Stromes im Schliessungskreise von Neuem einzuleiten.

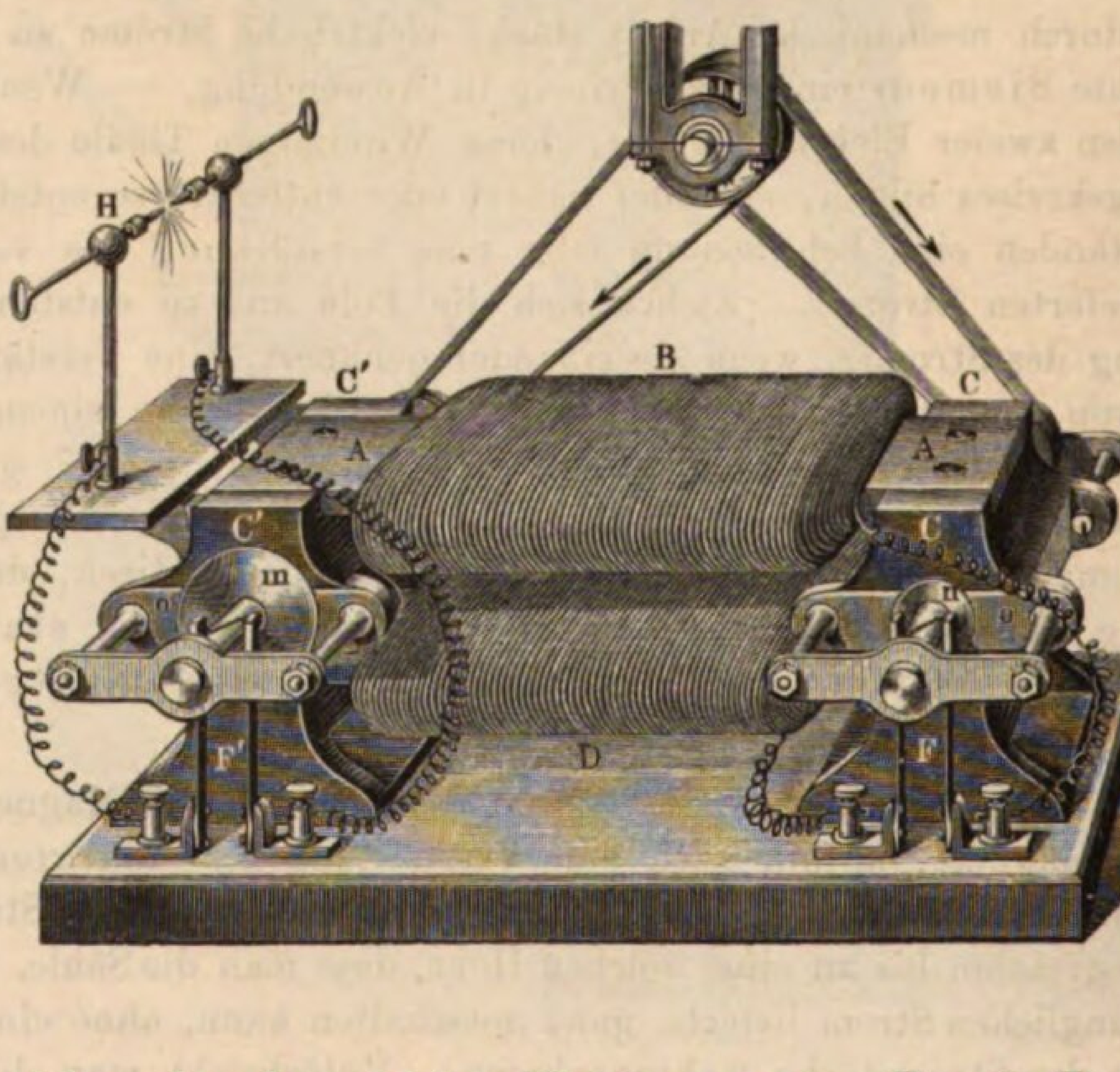
Man sollte zwar erwarten, dass die eben beschriebene Wirkung bei jeder elektromagnetischen Maschine eintreten müsste, die auf Anziehung und Abstossung vom Elektromagneten gegründet ist, deren Windungen Theile desselben Schliessungsbogens bilden; um aber auf diesem Wege bedeutende Wirkungen zu erzielen, müssen doch noch besondere Bedingungen erfüllt sein, namentlich aber muss der feststehende, stets in gleicher Richtung umkreiste Elektromagnet eine hinreichende magne-

tische Trägheit haben, um auch während des Stromwechsels seinen Magnetismus ungeschwächt beizubehalten.

Auf der vorjährigen Pariser Ausstellung hatte Siemens einen derartigen Apparat ausgestellt, welcher Ströme von solcher Stärke zu liefern im Stande war, dass die Umwindungsdrähte bis zur Verkohlung ihrer Umspinnung erwärmt wurden. Bis jetzt ist über die Construction dieses Apparates, mit dessen Vervollkommnung Siemens noch beschäftigt ist, nichts veröffentlicht worden.

Der englische Mechaniker Ladd hat das Siemens'sche Princip mit dem besten Erfolge bei der in Fig. 777 dargestellten dynamomagnetischen Maschine in Anwendung gebracht. Dieselbe besteht aus zwei

Fig. 777.



horizontalen einander gleichen Elektromagneten B und D, von denen der eine sich über dem anderen befindet. Jeder derselben wird durch eine Eisenplatte gebildet, welche 60^{cm} lang und 30^{cm} breit ist. Der mittlere Theil dieses Eisenkerns ist mit übersponnenem Kupferdraht umwickelt, wie es die Figur zeigt. Der rechts aus den Umwindungen hervorragende Theil A des oberen Eisenkerns steckt in einem eisernen Anker C, ebenso wie der links hervorragende Theil A' in dem eisernen Anker C' steckt. In gleicher Weise ist der untere Elektromagnet mit den eisernen Ankern F und F' versehen. Die beiden eisernen Anker C und F sind durch eine Messingplatte getrennt und der Länge nach durchbohrt, so dass in dieser Höhlung die Siemens'sche Spirale n rotiren kann, während auf der anderen Seite zwischen den Ankern C' und F'

in gleicher Weise die grössere, aus längerem und dünnerem Draht gebildete Siemens'sche Spirale *m* rotirt.

Es versteht sich von selbst, dass die Anker *C* und *F* entgegengesetzte Polarität haben, ebenso wie *C'* und *F'*.

Der Strom der Spirale *n* tritt durch Vermittelung eines entsprechenden Commutators stets in der gleichen Richtung in die Umwindungen der Elektromagnete *B* und *D* ein, um dann zu der Spirale *n* zurückzukehren, während die Windungen der Spirale *m* nicht in Verbindung mit den Umwindungen des Elektromagnets stehen und der in *m* inducirte Strom direct zu dem Apparat geführt wird, in welchem er zur Verwendung kommen soll, z. B. zu den Kohlenspitzen *H*, wenn es sich um die Hervorbringung des elektrischen Kohlenlichtes handelt.

Um den Apparat in Gang zu setzen, lässt man den Strom einer Säule von einigen Bechern durch die Umwindungen der Elektromagnete und der Spirale *n* gehen, während die Spirale in Rotation versetzt wird. Dadurch wird der Strom und in Folge dessen auch der Magnetismus der Eisenplatten so gestärkt, dass die Magnetpole *C'* und *F'* einen sehr kräftigen Strom in der rotirenden Spirale *m* zu induciren vermögen.

Hört man dann mit Drehen auf, so bleibt den Eisenkernen der Elektromagnete noch remanenter Magnetismus genug, um später die ursprünglich erregende Säule ganz entbehren zu können.

Der Strom einer Ladd'schen Maschine von den angegebenen Dimensionen war bei gehöriger Rotationsgeschwindigkeit stark genug, um einen Platindraht von 1 Meter Länge und $^1/_2$ Millimeter Dicke glühend zu machen und ein elektrisches Kohlenlicht von gleicher Stärke zu liefern, wie eine Säule von 25 bis 30 Bunsen'schen Bechern.

Zu §. 256. Seit längerer Zeit schon ist Silbermann jun. bemüht, durch möglichste Vereinfachung und zweckmässige Construction physikalische Apparate herzustellen, welche bei verhältnissmässig geringem Preise nicht allein zu Vorlesungsversuchen, sondern auch zu genaueren experimentellen Untersuchungen brauchbar sind.

Viel hat er dadurch erreicht, dass er eine Reihe von Stücken, welche gewöhnlich an verschiedenen Apparaten reproducirt werden, so construirte, dass man sie zu verschiedenen Combinationen verwenden kann, dass man also nicht mehr das gleiche Element bei verschiedenen Apparaten in vielleicht etwas abgeänderter Form zu wiederholen nöthig hat. — Zunächst hat Silbermann seine Bestrebungen den Apparaten zugewandt, deren sich Regnault bei seinen classischen Untersuchungen über verschiedene Parthien der Wärmelehre bediente und es ist ihm in der That gelungen, dieselben auch für weniger bemittelte Anstalten zugänglich zu machen.

Eine bedeutende Rolle spielen bei Silbermann's Apparaten die schmiedeeisernen Flaschen, in welchen das Quecksilber in den Handel gebracht wird und welche bei einem Inhalt von 4 bis 5 Litern einen Druck von mehr als 40 Atmosphären auszuhalten vermögen. Solche Flaschen

können mit dem besten Erfolge zu allen Apparaten verwendet werden, welche einen starken inneren Druck auszuhalten haben. Um z. B. einen Papiniani'schen Topf herzustellen, wird der Deckel mit der Ausgussöffnung abgeschnitten und an den oberen Rand ein eiserner Ring *ab*, Fig. 778, angeschmiedet, dessen obere Fläche vollkommen eben abgeschliffen werden muss und auf welchen dann der gleichfalls eben abgeschliffene Deckel *cd* aufgesetzt wird. Um diesen Deckel vollkommen schliessend aufpressen zu können, ist er sowohl wie der Rand des Recipienten conisch abgedreht und sie werden, nachdem man zwischen dieselben je

Fig. 778.

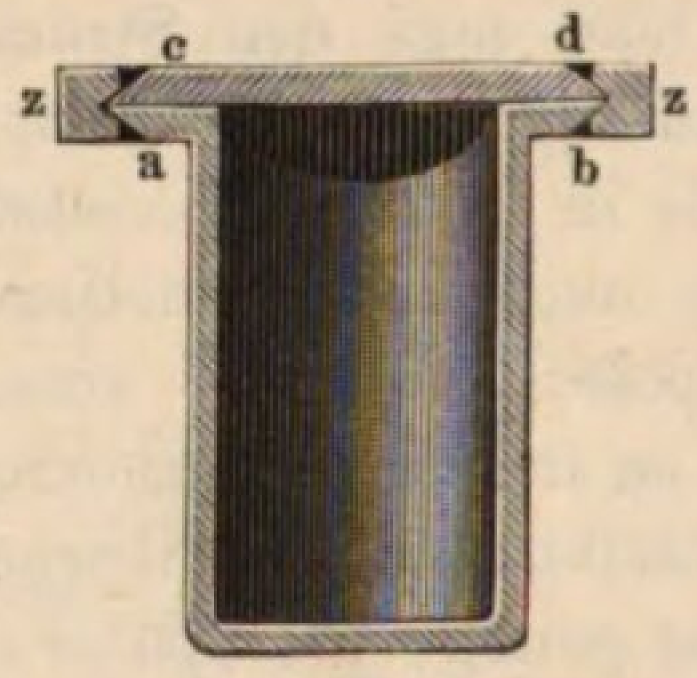
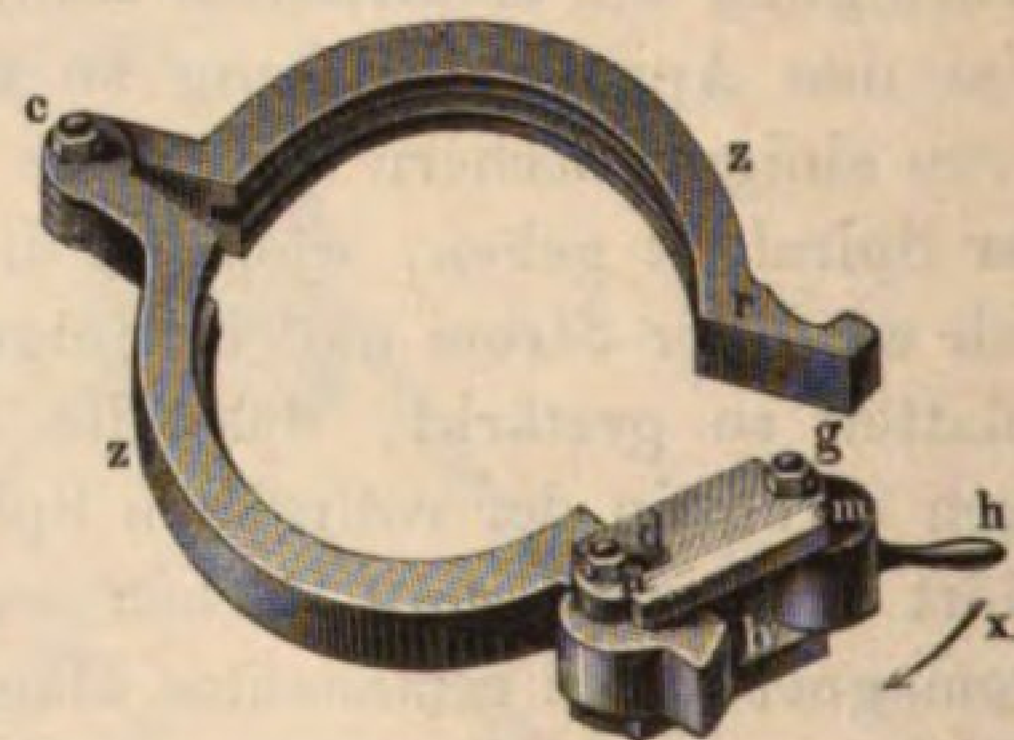


Fig. 779.



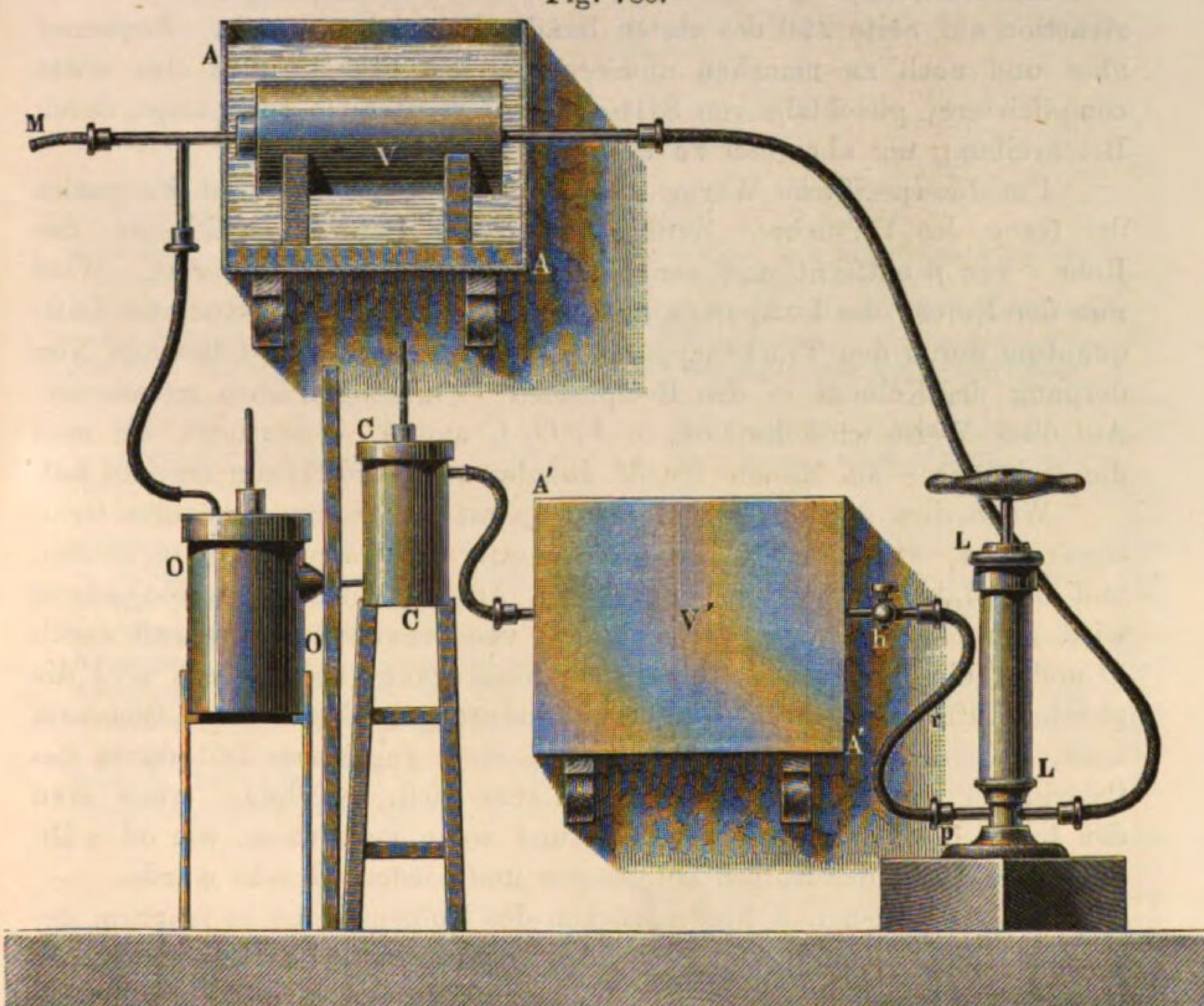
nach Umständen einen gefetteten Lederring, oder für höhere Temperaturen eine Schicht Mennigkitt eingelegt hat, mit einer Hohlkehlenzwinge zusammengepresst. Diese aus gutem Eisen verfertigte Zwinge *zz*, Fig. 779, ist aus zwei halbkreisförmigen Theilen zusammengesetzt, welche um die Axe *c* drehbar und innen mit einer doppelkegelförmigen Rinne versehen sind. Der Winkel, welchen die beiden Kegelflächen dieser Rinne mit einander machen, ist etwas spitzer als der Winkel des Doppelkegels, welchen der Rand des Deckels mit dem des Gefässes bildet. An der einen Hälfte der Zwinge befindet sich eine um die Axe *d* drehbare Schlinge *ab*, welche aus zwei Eisenplatten besteht, zwischen denen ein mit dem Handgriff *h* versehener eiserner Cylinder *m* um eine excentrisch angebrachte Axe *g* gedreht werden kann. Wird die Zwinge um die zu verbindenden Stücke gelegt und der Theil *r* zwischen die Schlinge *ab* gebracht, so kann man, die Handhabe *h* in der Richtung des Pfeiles *x* drehend, einen sehr starken Druck ausüben, der eine vollkommen hermetische Schliessung bewirkt. Diese Einrichtung hat noch den grossen Vortheil, dass Schliessung und Oeffnung ungemein rasch ausgeführt werden können.

Je nachdem man den Recipienten Fig. 778 zu verschiedenen Zwecken benutzen will, werden in dem Deckel desselben verschiedene Vorrichtungen angebracht. Um z. B. einen Papiniani'schen Topf herzustellen, muss der Deckel vor allen Dingen mit einem Sicherheitsventil versehen sein. Man kann ferner alle an dem Deckel des kleinen Dampfkessels

Fig. 648 Seite 731 angebrachten Vorrichtungen auch hier anbringen. Derselbe Recipient kann ferner dienen statt des kleinen Dampfkessels *A*, Fig. 649; statt des Dampfentwickelungsapparates der Vorrichtung Fig. 685; statt des Compressionsgefässes *BB* des Apparates Fig. 169 auf Seite 132 des ersten Bandes u. s. w.

Auch zur Herstellung einer künstlichen Atmosphäre, wie sie Regnault bei verschiedenen seiner Untersuchungen in Anwendung brachte, lassen sich jene Quecksilberflaschen benutzen. Zu diesem Zweck muss dann ein Rohr luftdicht in die Ausgussöffnung der Flasche und ein zweites in die Mitte des gegenüberliegenden Bodens eingesetzt werden. Auf diese Weise erhält man ein Gefäss von der Form *V*, Fig. 780, welche das Silbermann'sche Arrangement des Versuchs zur Bestimmung der

Fig. 780.



specifischen Wärme der Gase erläutert. Zu dem fraglichen Zweck ist jedoch das Volumen einer einzigen Flasche zu klein, man muss deshalb eine Combination von mehreren anwenden.

In einem mit kaltem Wasser gefüllten Gefässe *AA*, Fig 780, befinden sich drei solcher Reservoirs *V*, wie unsere Figur nur eines darstellt. Diese drei Gefässe sind mit einander durch Röhren verbunden und von

dem ersten führt eine Röhrenleitung zu der Luftpumpe L, von dem letzten führt eine solche zunächst zu dem Manometer M, welches gerade so construirt ist, wie das Manometer M, Fig. 689 Seite 802, und dann weiter zum Erwärmungsapparat O.

Der Erwärmungsapparat O und das Calorimeter C sind im Wesentlichen ebenso construirt, wie beim Regnault'schen Apparate Fig. 689. Während aber beim Regnault'schen Apparate das Gas aus dem Calorimeter in die freie Luft ausströmt, führt es Silbermann durch eine Röhrenleitung zu einer Combination von drei Reservoirs V', welche sich gleich den drei Reservoirs V in einem mit Wasser gefüllten Behälter A' befinden und von welchen eine weitere Röhrenleitung zur Luftpumpe L führt.

Als Luftpumpe genügt zu diesen Versuchen diejenige, deren Construction auf Seite 216 des ersten Bandes besprochen wurde. Bequemer aber und auch zu manchen anderen Zwecken brauchbar ist eine etwas complicirtere, gleichfalls von Silbermann construirte Luftpumpe, deren Beschreibung uns aber hier zu weit führen würde.

Um die specifische Wärme der Luft zu bestimmen, ist Folgendes der Gang des Versuches. Zunächst wird der Hahn h geschlossen, das Rohr r von p entfernt und vor p ein Trockenapparat vorgesetzt. Wird nun der Kolben der Luftpumpe aufgezogen, so wird ein bestimmtes Luftquantum durch den Trockenapparat aufgesaugt, um beim folgenden Niedergang des Kolbens in den Recipienten V hineingetrieben zu werden. Auf diese Weise wird die Luft in V, O, C und V' comprimirt, bis man die gewünschte am Manometer M abzulesende Verdichtung erreicht hat.

Wenn dies geschehen und der Apparat O bis zum gehörigen Grad erwärmt ist, wird der Trockenapparat entfernt, r wird mit p verbunden und der Hahn h geöffnet. Bei jedem Aufzug des Luftpumpenkolbens wird nun ein bestimmtes Luftquantum von bekannter Spannkraft durch O und C hindurchgesaugt, bei jedem Niedergange des Kolbens wird die gleiche Luftmenge durch O und C hindurchgetrieben. Das Quantum Luft, welches auf diese Weise während einer gegebenen Zeit durch das Calorimeter hindurchstreicht, lässt sich aber leicht berechnen, wenn man den Inhalt des Pumpenstiefels kennt und wenn man weiss, wie oft während dieser Zeit der Kolben aufgezogen und niedergedrückt wurde.

Das Aufziehen und Niederdrücken des Kolbens muss so langsam geschehen, dass dadurch keine merkliche Schwankung des Manometers M bewirkt wird.

Bayerische Staatsbibliothek München

NAMEN-REGISTER DES ZWEITEN BANDES.

A.

	Seite
Aepinus, Doppelstrich	14
— Unitarier	87
Alexander, Wirkung des Thermostroms	473
Althaus, galvanische Conservirung der Salzpfannen	338
Ampère, Gesetz der galvanischen Ablenkung der Magnetnadel	348
— Elektrodynamik	429
— Theorie des Magnetismus	442
Ampère'sches Gestell	423
— elektrodynamisches Gesetz	436
Andrews, Verbrennungswärme	867
— indirecte Bestimmung derselben	880
Arago, rotirende Magnetnadel	554
— Spannkraft der Wasserdämpfe	699
Armstrong, Dampfelektrisirmaschine	117
Arndtsen, Abhängigkeit der Leitungswiderstände von der Temperatur	246
August, Psychrometer	972
Avogadro, specif. Wärme	792

B.

	Seite
Babo, v., vom Dampf d. Salzlösungen	739
— Gefrieren des Quecksilbers	744
— Chronoskop	421
Bain, elektrische Uhr	415
Bancalari, Diamagnetismus der Flamme	594
Barlow's Rad	537
Barral, Tragkraft d. Elektromagnete	379
Becquerel, constante Batterie	210
— elektrische Fische	613
— Elektrolyse	321
— elektr. Leitungswiderstände	242
Becquerel, Abhängigkeit derselben von der Temperatur	246
— elektro-magnetische Drehung der Polarisationsebene	584
— elektromotorisches Verhalten der Flüssigkeiten	197
— Leitungswiderstand der Flüssigkeiten	274
— thermo-elektr. Spannungsreihe	463
— elektrische Leitungsfähigkeit der Gase	483
Beetz, elektromotorische Kraft	267
— galvanische Polarisation	285
— elektromotor. Kraft d. Gassäule	289
Bennet, Goldblattelektrometer	93
— Säulenelektrometer	203
Berard, specif. Wärme der Gase	797
Bertin, elektromagnetische Drehung der Polarisationsebene . . . 578.	583
Berzelius, elektrochemische Theorie	339
Biot, elektrische Vertheilung	91
— Gleichung der magnetischen Intensitätscurve	70
— Meteorsteinfall	990
Black, Schmelzungswärme	679
— Verdampfungswärme	753
Böttger, Elektrophormasse	98
— Eisbildung d. Verdampfung	761
— Freiwerden der Wärme	686
Bohnenberger, Säulenelektrometer	203
du Bois-Reymond, elektrische Nervenerregung	606
— Multiplicator	357
— Muskelstrom	608
— Nervenstrom	612
— Schlittenapparat	493
Borda, magnetische Intensitätsmessungen	38

Seite

Bornhard, Elektrisirmaschine . . . 152
Bothe, Pachytrop 221
Botto, Wirkung des Thermostroms 473
Boutigny, sphäroidaler Zustand . . 745
Breda, van, galvan. Flammenbogen 303
Breguet, Metallthermometer . . . 639
Breschet, elektrische Fische . . . 613
Brewster, Pyroelektricität 187
Brix, Verdampfungswärme 753
Brugmann, Inclinationsbestimmung 41
Brunner, Ausdehnung des Eises . 635
— specif. Gewicht des Eises . . . 658
Buff, constante Batterie 210
— Disjunctor 503
— elektromotorische Kraft 267
— Elektrolyse durch Reibungselektricität 324
— elektrische Leitungsfähigkeit d. Gase 483
— elektromotorisches Verhalten der Flüssigkeiten 195
— elektrische Leitung durch Flüssigkeiten 325
— elektrische Uhr 416
— elektrodynamische Bandspiralen 431
— galvanische Polarisation 284
— galvanisches Tönen 384
Bunsen, constante Batterie 213
— Elektrolyse d. Chlormetalle . . 317
— Erhöhung des Schmelzpunktes durch Druck 929
— Spannkraft einiger Dämpfe . . 709
— Voltameter 226
— Thermoelement 467

C.

Cagniard de la Tour, Dichtigkeit der Dämpfe 718
Cahours, Dichtigk. d. Wasserdampfs 720
Candolle, de, Wärmeleitung d. Holzes 861
Canton, Elektroskop 93
Cardani's Aufhängung 22
Carlisle, galvan. Wasserzersetzung . 312
Carré, Eisapparate 763
Casselmann, galvanischer Flammenbogen 303
Celsius, Thermometerscala 622
Chladni, Meteorsteine 990
Clarke, Magnet-Elektrisirmaschine 539
Clausius, mechanische Wärmetheorie 900
— Condensation des Dampfes durch Expansion 923
— thermische Molekularbewegung 935
— Wärme- und Werkinhalt . . . 908
— Verdampfungswärme 921
— Veränderung d. Gefrierpunktes durch Druck 926
Clement, specif. Wärme der Gase . 808
Coulomb, Drehwage 46

Seite

Coulomb, elektrische Fernewirkung 123
— elektrischer Verlust 127
— magnetisches Magazin 18
— Messung magnetischer Kräfte . 45
— Vertheilung des Magnetismus . 69
Cunäus, Leydener Flasche 144

D.

Dalton, Dampfbarometer 694
— Gesetz der Dampfspannung . . 708
Daniell, Hygrometer 971
— Theorie der Elektrolyse 327
Daniell'sche Säule 209
Davy, elektrische Fische 613
— elektrochemische Theorie . . . 339
— galvanische Rotation 447
— galvanische Conservirung des Schiffsbeschlags 338
— galvanischer Flammenbogen . . 301
— galvan. Zerlegung der Alkalien 314
— rotirender Flammenbogen . . . 447
— rotirende Flüssigkeiten 447
— Sicherheitslampe 855
— thierische Wärme 871
— Wärmeentwickelung durch Reibung 888
Dellmann, Elektrometer 128
Desains Schmelzungswärme 680
Desormes, specif. Wärme der Gase 808
Despretz, Ausdehnung d. Wassers 653
— Verbrennungswärme 866
— Verdampfungswärme 754
— Wärmeleitung 856
— Wärmeleitung in Flüssigkeiten 862
Donney, Verzögerung des Siedens 741
Dove, Disjunctor 503
— Extrastrom 498
— Gesetz der Winddrehung . . . 966
— meteorologische Tabellen . . . 946
Dub, Tragkraft der Elektromagnete 379
Dubosq, elektrische Lampe 308
Dufay, elektrische Funken aus den menschlichen Körpern 89
— Glas- und Harzelektricität . . 85
Dufour, Einfluss d. Temperatur auf Magnete 78
— specifisches Gewicht des Eises . 658
— Verzögerung des Erstarrens . . 686
— Verzögerung des Siedens . . . 741
Duhamel, Magnetisirungsmethode . 13
Dulong, Ausdehnung d. Quecksilbers 641
— Erkaltungsgesetze 852
— lineare Ausdehnung 630
— specifische Wärme 790
— specif. Wärme der Gase . . . 810
— specif. Wärme u. Atomgewicht 790
— Spannkraft der Wasserdämpfe . 699
— thierische Wärme 873
— Wärmeleitung der Gase . . . 863
Dumas, Dampfdichte 713

Seite

E.

Edlund, Extrastrom 499
Eisenlohr, Widerstandssäule . . . 255
Elias, Magnetisirungsspirale . . . 369
Ericson, calorische Maschine . . . 921
Ermann, galvanische Zersetzung d. Alkalien 314
Ettingshausen, Magnetelektrisirmaschine 539

F.

Fahrenheit, Freiwerden der Wärme 685
— Thermometerscala 623
Faraday, äquatoriale Einstellung . 585
— Condensation der Gase 720
— Dampfelektricität 119
— Diamagnetismus 573
— Diamagnetismus der Gase . . . 596
— Diamagnetismus der Krystalle . 603
— elektr. Leitung durch Flüssigkeit 325
— elektr. magn. Drehung der Polarisations-Ebene 574
— elektrische Theorie 88
— elektrodynamische Abstossung . 435
— Elektrolyse der Chlormetalle . 316
— Elektrolyse durch Reibungselektricität 324
— elektrolytisches Gesetz 321
— Erdinduction 555
— Extrastrom 498
— Farbe des elektr. Funkens . . 175
— Hemmung durch Inductionsströme 552
— Inductionsströme 486
— Rotations-Induction 536
— rotirende Ströme 446
— Spannkraft einiger Dämpfe . . 710
— specifisches Vertheilungsvermögen 148
— Theorie des Diamagnetismus . 589
— Theorie des Galvanismus . . . 342
— Voltameter 227
Favre, calorische Aequivalente . . 884
— Wärme durch Gascompression . 806
— Wärmeentwickelung durch chemische Verbindungen 874
— Verbrennungswärme 868
Fechner, Bestandtheile der elektromotorischen Kraft 262
— Säulenelektrometer 204
Feddersen, Dauer des Funkens . . 182
Feilitzsch, magnetische Vertheilung im Querschnitt der Eisenstäbe . 381
Fessel, Rotations-Induction 534
Fizeau, Condensator 511
— elektrisches Kohlenlicht 304
Foucault, elektrisches Kohlenlicht . 304
— Hemmung durch Inductionsströme 553
— Interruptor 509
Forbes, Polarisation der Wärmestrahlen 850

Seite
Frankenheim, Ausdehn. d. Wassers 654
— Erklärung d. thermoelektrischen Erkaltung 479
Franklin, elektr. Drache 992
— Elektroskop 93
— Ladungstafel 140
— Unitarier 87
Franz, elektr. u. therm. Leiter . . 243
— Wärmeleitung 858
— Wärmespectrum 827
Frick, Magnetisirung durch Elektromagnete 369
— Dampf im lufterfüllten Raum . 729

G.

Galvani, Froschschenkel-Zuckung 189. 607
Garnier, specifische Wärme . . . 795
Garthe, gekreuzte Ströme 434
Gassiot, alternirende Ströme . . . 532
— elektr. Isol. durch das Vacuum 527
— grosse Batterie 311
Gaugain, Tangentenbussole 351
Gauss, Bifilarmagnetometer 67
— elektrischer Telegraph 403
— Magnetometer 27
— Wirkung der Magnetstäbe in die Ferne 50
— Intensität des Erdmagnetismus . 59
Gay-Lussac, Ausdehnung der Luft 661
— Blitzableiter 996
— Dampfdichte 712
— Gewichtsthermometer 645
Geissler, Röhren 524
— rotirender Lichtstrom 528
— specif. Gewicht des Eises . . . 658
Gilbert, Vernichtung des Magnetismus durch Wärme 78
— Wirkung der Flammen 138
Gould, Geschwind. d. elektr. Stroms 403
Graham, Variationen d. Inclination 37
Gray, elektrische Leiter 82
Greiss, positiv elektr. Siegellack . 87
— Magneteisen 12
Gressler, Zinkkohlenbecher 215
Grothuss, galvan. Wasserzersetzung 313
Grove, constante Batterie 211
— galvanisches Glühen in Gasen . 863
— Gasbatterie 287
Grubeaud, Eisapparat 863
Grüel, Elektrisirmaschine 105
Guericke, Otto von, elektr. Funken 89

H.

Häcker, Sättigungspunkt der Stahlmagnete 76
— Tragkraft der Magnete 19
Hallström, Ausdehnung d. Wassers 652
Halske, Magnetelektrisirmaschine . 546

Seite

Hankel, magnetische Wirkung der Reibungselektricität 383
— Pyroelektricität 188
— thermo-elektrische Spannungsreihe 463
Hare, Calorimotor 209
Harris, Schlagweite 159
Harrison, Eisapparate 763
Hartmann, Inclination 25
Hasler, galvanisch registr. Uhren . 414
Haüy, Kochsalzbecher 217
— Pyroelektricität 186
Heintz, negativ-elektrisches Glas . 87
Henley, Auslader 153
— Quadrantenelektrometer 106
Henry, Inductionsströme höherer Ordnung 567
Hess, Wärmeentwickel. durch Hydradation der Schwefelsäure . . 879
Heycraft, specif. Wärme d. Gase . 801
Hittorf, Gasspectra 1. u. 2. Ordnung 525
— Wanderung der Ionen 330
Hipp, elektrisches Chronoskop . . 419
— elektromagnetische Uhr 417
Hirn, specif. Wärme der Gase . . 809
— mechanisches Aequivalent der Wärme 896
— Verschwinden d. Wärme durch Arbeitsleistung 901
— Nebelbildung durch Expansion · 924
Hoffer, Magnetisirungsmethode . . 15
Holtz, Elektrisirmaschine 110
— elektrische Durchbohrung von Glas 156
Hope, Ausdehnung des Wassers . 652
Hopkins, Erhöhung des Schmelzpunktes durch Druck 929
Horsford, Leitungswiderstand der Flüssigkeiten 274
Howart, Wolkenformen 976
Hugi, Freiwerden der Wärme . . 686
Humboldt, elektrische Fische . . . 614
— Isothermen 945
— Muskelstrom 607
— Regen in der heissen Zone . . 980

J. und I.

Jacobi, Einheit der Stromstärke . 229
— — des Leitungswiderstandes . . 247
— Widerstandsetalon 247
— elektromagnetische Triebkraft . 391
— galvanischer Funke 311
— Galvanoplastik 334
— Gesetze des Elektromagnetismus 370
— Theorie elektromagn. Motoren . 397
Jamin, Wärmespectrum 832
Ingenhouss, Wärmeleitung 854
Joule, Bestimmung d. Verbrennungswärme durch Elektrolyse . . . 882
— galvanische Wärmeentwickelung 293
Joule, Verlängerung der Eisenstäbe durch Magnetisirung 389
— mechan. Aequiv. der Wärme . 892

K.

Kessler, Magnetismus geglühter Eisenfeile 41
Kienmayer, Amalgam 87
Kircher, elektr. Wirkung d. Flammen 138
Kirchhoff, Stromverzweigungen . . 239
Kinnersley, elektr. Mörser 157
— elektr. Thermometer 157
Kleist, Leydener Flasche 144
Knoblauch, Diamagnetismus . . . 604
— Diatherm. der Metalle 823
— Diffusion der Wärmestrahlen . 843
— Interferenz der Wärmestrahlen . 850
Kobell, Galvanographie 336
Köhler, Pyroelektricität 188
Kohlrausch, Condensator 171
— Elektrometer 129
— Sinuselektrometer 132
Kolbe, secundäre Action 327
Kopp, Ausdehnung beim Schmelzen 655
— Ausdehnung der Flüssigkeiten . 647
— Ausdehnung des Wassers . . . 653
— Bestimmung der specif. Wärme 786
— cubische Ausdehnung 635
— specif. Wärme zusammengesetzter Körper 792
Koosen, Elektromagnetismus . . . 374
Krönig, thermische Molekularbewegung 935
Kupffer, Schwächung des Magnetismus durch Wärme 78

L.

Lamont, galvanisch registr. Uhren 414
— Inclinationsbestimmung 42
— Intensitätsbestimmung 66
— magnetischer Theodolit 32
Lane, Maassflasche 158
— Schlagweite 159
Langberg, Wärmeleitung 858
Laplace, lineare Ausdehnung . . . 626
— Schmelzungswärme 680
— specifische Wärme 781
— specif. Wärme d. Gase bei const. Druck u. bei const. Vol. 807
— Verbrennungswärme 866
Lavoisier, lineare Ausdehnung . . 626
— Schmelzungswärme 680
— specifische Wärme 781
— thierische Wärme 873
— Verbrennungswärme 866
Legrand, Siedepunkt d. Salzlösungen 737
Leidenfrost's Tropfen 743
Lenz, elektr. Leitungswiderstände . 242
— Abhängigk. ders. v. d. Temper. 246

Seite
Lenz, galvan. Wärmeentwickelung 293
— galvanische Polarisation 285
— Gesetz der Induction 488
— Gesetz des Elektromagnetismus 370
— Kälte durch thermo-elektr. Ströme 479
Leslie, Differentialthermometer . . 813
— Eisbildung durch Verdampfung 760
— Hohlwürfel 816
Leyser, Magnetometer 30
Lichtenberg, elektr. Staubfiguren . 173
— elektrische Bindung 139
— Diathermanität d. Wasserdampfes 838
Liebig, thierische Wärme 873
Linari, elektrische Fische 613
Lissajous, Inductionsfunken 517
Lloyd, Inclinationsbestimmung . . 41
Locke, galvanisch registr. Uhren . 412
Logemann, Stahlmagnete 19
Lullin, elektrische Durchbohrung . 185

M.

Magnus, Apparat zur Condensation der Gase 725
— Ausdehnung der Luft 668
— Eisenpulver am Magnet verbrennend 41
— thermo-elektrische Versuche . . 470
— Spannkraft der Wasserdämpfe . 702
— Verstärkung d. Inductionsströme durch Eisen 500
— Wärmeleitung der Gase 864
Marcus, Thermosäule 475
Mariotte-Gay-Lussac'sches Gesetz. 671
Marrian, galvanisches Tönen . . . 384
Marum, van, Elektrisirmaschine . 103
Marochini, Magnetisirung durch Licht 79
Masson, elektr. Leitung durch Flüssigkeiten 325
— Induction durch Reibungselektr. 494
— Inductionsströme höherer Ordn. 569
— Identität der Wärme- u. Lichtstrahlen 832
— specif. Wärme der Gase 809
— Wärmespectrum 831
Matthiessen, elektrischer Leitungswiderstand 242
— galvanische Reduction des Calciums 316
— Thermo-elektrische Differenzen . 466
— Widerstand der Legirungen . . 243
Matteucci, elektrische Fische . . . 613
— Froschstrom 608
Mayer, specifische Wärme 779
Mayer (Heilbronn), mech. Aequivalent der Wärme 892
Meidinger, constante Batterie . . . 211
Meissner, Spiegelgalvanometer . . 361
Melloni, Absorption und Diffusion der Wärmestrahlen 841

Seite
Melloni, Diathermanität 819
— Polarisation der Wärmestrahlen 846
— Thermomultiplicator 813
— Thermochrose 831
— therm. Strahlungsvermögen . . 816
Meyerstein, Spiegelgalvanometer . 361
Mitscherlich, Ausdehn. d. Krystalle 640
Mohr, Hageltheorie 983
— Voltameter 228
Morin, Theorie d. Dampfmaschinen 777
Morse, Drucktelegraph 403
Moser, Magnetisirung durch Licht 80
Mousson, Eisbildung unter hohem Druck 927
Müller, Joh. (Fbg.), Commutator . 425
— Ausdehnungsapparat 627
— elektr. Fernewirkung 125
— elektr. Leitungswiderstand des reinen Wassers 313
— Erdinduction 557
— galvanisches Glühen 298
— Gesetze des Elektromagnetismus 370
— Graduirung des Strohhalmelektrometers 96
— Magnetisches Maximum 372
— Vibrations-Chronoskop 519
— Wärmespectrum 628
— Wellenlänge der Wärmestrahlen 830
Müller (Wesel), elektr. Leitungwiderstand glühender Metalle . . . 247
Munke, Funken durch Thermoströme 473

N.

Natterer, Condensat. d. Kohlensäure 721
— flüssiges Stickstoffoxydul . . . 762
Negro, dal — Elektromagnetische Triebkraft 390
Neumann, specifische Wärme . . . 785
— elektromotorische Kraft thermoelektrischer Elemente 467
— specif. Wärme zusammengesetzter Körper 792
Newkomen, Dampfmaschine . . . 766
Newton, Erkaltungsgesetze 851
Nicholson, galvanische Wasserzersetzung 312
Nobili, Multiplicator 355
— Muskelstrom 607
— Ringe 337
— Thermosäule 472
Nöllner, Hageltheorie 983
Normann, Inclination 25

O.

Oersted, Elektrometer 128
— galvan. Ablenkung der Magnetnadel 348
Ohm'sches Gesetz 221

Seite
Ohm, Stromverzweigung 239
— Leitungswiderstände 242
— Best. d. Construct. galvan. Becher 262

P.

Paalzow, alternirende Ströme . . . 531
Page, elektromagnet. Motoren . . 396
— galvanisches Tönen 384
Palmieri, Erdinduction 555
Pambour, Theorie d. Dampfmasch. 777
Pape, specif. Wärme 785
Papin, Digestor 735
Parry, magnetische Inclination . . 24
Péclet, elektromotorisches Verhalten der Flüssigkeiten 197
Peltier, Elektrometer 128
— Kälte durch thermo-elektrische Ströme 477
Person, Schmelzungswärme 681
Petit, Ausdehn. des Quecksilbers . 641
— lineare Ausdehnung 630
— Erkaltungsgesetze 852
— specifische Wärme 790
Philipps, magnetische Inclination . 24
Picard, elektr. Leuchten des Barometers 178
Pierre, Ausdehnung d. Flüssigkeiten 647
— Ausdehnung des Wassers . . . 653
Plücker, Ausdehnung des Eises . . 635
— — des Wassers 653
— Diamagnetismus der Flamme . 594
— — der Krystalle 603
— diamagnetische Flüssigkeiten . 589
— diamagnetische Intensität . . . 596
— elektr. Isolirung durch d. Vacuum 527
— Gasspectra 1. u. 2. Ordnung . 525
— magnetisches Verhalten des negativen Glimmlichts 530
— Rotations-Induction 534
— specif. Gewicht des Eises . . . 658
Poggendorff, Elektricität des Pyropapiers 87
— Compensationsmethode 264
— Galvanometer 354
— galvanische Polarisation 285
— galvanisches Tönen 389
— Inductionsspirale 514
— magnet. Hammer 489
— magnet. Maximum geschlossener Elektromagnete 381
— Rheocord 254
— Rotation der Flüssigkeiten . . 448
— Spiegelvorrichtung 27
— thermo-elektrische Säule . . . 473
— Wippe 281
Poncelet, Theorie d. Dampfmasch. 777
Pouillet, elektr. Chronoskop . . . 420
— Gesetz der Stromstärke 224
— Leitungswiderstand des Wassers 313
— Luftpyrometer 669

Seite
Pouillet, specifische Wärme . . . 789
Prevostaye, Schmelzungswärme . . 680
Pristley, elektr. Wirkung d. Flammen 138

Q.

Quintus Jeilius, Erklärung der Erkaltung durch thermo-elektrische Ströme 479

R.

Réaumur, Thermometerscala . . . 623
Redtenbacher, thermische Molekularbewegung 935
Rees, van, Vertheilung des Magnetismus in Stahlstäben 71
Regnault, Ausdehnung der Luft . 665
— Ausdehnung des Quecksilbers . 644
— Hypsometrisches Thermometer . 732
— latente Wärme d. Wasserdampfes 756
— Mengungsmethode 784
— specifisches Gewicht der Gase . 675
— specifische Wärme 791
— specifische Wärme der Gase . . 801
— Schmelzungswärme 680
— Spannkraft der Alkoholdämpfe 707
— Spannkraft der Wasserdämpfe . 696 701. 736
Reich, Theorie des Diamagnetismus 590
Reis, Telephon 387
Reusch, Commutator 426
Riess, elektrische Erwärmung . . 163
— elektrischer Leitungswiderstand 167
— elektrische Schmelzung 168
— elektrische Vertheilung 91
— elektr. Wirkung der Flammen . 138
— Erklärung der Staubfiguren . . 173
— Induction durch Reibungselektr. 383
— Leitungswiderstand der Metalle 242
— magnetische Wirkung der Reibungselektricität 494
— Magnetisirung durch Licht . . 80
— Pyroelektricität 188
— Schlagweite der Batterie . . . 159
Ritchie, rotirender Elektromagnet . 390
Ritter, Ladungssäule 280
Rive, de la, elektrodynam. Abstoss. 435
— galvanisches Tönen 384
— magnetischer Hammer 489
— rotirender Lichtstrom 528
— specif. Wärme der Gase 801
— schwimmender Strom 424
— Theorie des Galvanismus . . . 342
— Wärmeleitung des Holzes . . . 861
Roche, de la, specif. Wärme d. Gase 797
Romas, de, elektrischer Drache . . 992
Romershausen, Elektrometer . . . 128
Rose, Pyroelektricität 188
Ross, magnetischer Nordpol . . . 24

Seite
Roy, lineare Ausdehnung 632
Rudberg, Ausdehnung der Luft . . 661
— Schmelzpunkte 679
Ruhmkorff, Bunsen'sche Batterie . 215
— Commutator 367
— Elektromagnet 574
— Funkeninductor 507
Rumford, Differentialthermometer . 812
— Verbrennungswärme 866
— Wärme durch Reibung 887

S.

Saussure, Elektroskop 93
— Hygrometer 970
Savary, Dampfmaschine 766
— magnet. Wirkung der Reibungselektricität 383
Saxton, Magnetelektrisirmaschine . 539
Schmidt, Dampfbarometer 694
Schönbein, galvanische Polarisation 286
— Ozon 185
— Passivität 290
— Theorie des Galvanismus . . . 342
Schubert, Elektrometer 129
Schweigger, Multiplicator 354
Schwerd, Dampf-Elektrisirmaschine 120
Seebeck, Kaliumamalgam 316
— thermo-elektrische Ströme . . . 460
— thermo-elektrisches Verhalten der Legirungen 464
— Wärmespectrum 827
Senarmont, Wärmeleitung in Krystallen 860
Siemens, elektrische Stromeinheit . 229
— — Widerstandseinheit 248
— elektr. Leitungswiderstände . . 242
— Magnetelektrisir-Maschine . . . 546
Siemens und Halske, Bunsen'sche Batterie 213
— Sinusbussole 353
Silbermann sen., calorische Aequivalente 884
— Verbrennungswärme 868
— Wärme durch Gascompression . 806
— Wärmeentwickelung durch chemische Verbindungen 874
Silbermann jun., Modification der Regnault'schen Apparate 1007
Singer, trockene Säulen 201
Sinsteden, Inductionsfunken . . . 503
Smeaton, lineare Ausdehnung . . 633
Smee, galvanische Batterie 208
Sömmering, elektrischer Telegraph 403
Sommerville, Lady, Magnetisirung durch Licht 79
Spencer, Galvanoplastik 334
Staudinger, Kathetometer 642
Stateham, Zünder 519
Stefan, Thermo-Elemente 467
Steinheil, Erdleitung 403

Seite
Stempelmann, Doppelunterbrecher . 491
Stöhrer, Ampère'sches Gestell . . 426
— Condensator 169
— elektro-magnetischer Motor . . 392
— Kohlenlicht-Regulator 305
— Magnet-Elektrisirmaschine . . . 539
— Metallthermometer 638
— Pachytrop 220. 543
— Funkeninductor 513
— Zimmersäule 218
Sturgeon, Verstärkung d. Inductionsströme durch Eisen 500
Svanberg, galvanische Polarisation 285
Symmer, Dualisten 87

T.

Thilorier, Condensation der Kohlensäure 721
Thomson, thermo-elektrisch neutral. Punkt 469
Töpler, Elektrisirmaschine 110
Tralles, Ausdehnung des Wassers . 652
Tremery, der Lullin'sche Versuch . 154
Troastwyck, Elektrolyse durch Reibungselektricität 323
Tyndall, Theorie d. Diamagnetismus 590
— Calorescenz 839
— pneumatisches Feuerzeug . . . 807
— Strahlungsvermögen der Gase . 846
— thermische Intensitätscurve . . 830
— Wärmeentwickelung durch Reibung 888
— Wärmeleitung des Holzes . . . 861
— Wärmestrahlung durch Gase . 833

V.

Verdet, elektr.-magn. Drehung der Polarisationsebene 580
— negative Drehung 584
Vogel, Hageltheorie 983
Volta, Contacttheorie 341
— elektr. Wirkung der Flammen . 138
— Elektrophor 98
— Element 198
— Fundamentalversuch 191
— Hageltheorie 983
— Säule 198
— Strohhalmelektrometer 93
Vorsselmann de Heer, elektrischer Telegraph 403

W.

Wagner, magnetischer Hammer . . 489
— elektro-magnetische Triebkraft . 392
Walker, Geschwindigkeit d. eklektrischen Stroms 410
Wall, Blitz u. elektrischer Funke . 992
Walsh, elektrische Fische 612

Seite
Waltenhofen, elektromotor. Kraft . 267
— Elektr. Licht im verd. Raum . 528
— Gesetz des Elektromagnetismus . 372
Watkins, Wirkungen des Thermostroms 473
Watt, latente Wärme des Wasserdampfes 756
— Dampfmaschine 766
Weber, elektrischer Telegraph . . 403
— elektro-dynamische Versuche . 438
— Erdinduction 556
— Inductions-Inclinatorium . . . 559
— magnetische Ablenkungsversuche 55
— magnetische Intensitätsbestimmungen 59
— Stromverzweigung 239
— Spiegelgalvanometer 359
— Tangentenbussole 230
— Theorie des Diamagnetismus . 592
— Theorie der Elektrodynamik . . 569
— Theorie der Induction 572
— unipolare Induction 534
— Widerstandsbestimmung nach absolutem Maass 561
Weisbach, specif. Wärme der Gase 809
Wertheim, galvanisches Tönen . . 384
— Verlängerung d. Eisenstäbe durch Magnetismus 338
Wetteren, Stahlmagnete 19
Wheatstone, Dauer des Funkens . 179
— Differentialwiderstandsmesser . . 257
— elektrisches Chronoskop 418
— Geschwindigkeit der Elektricität 182
— Leitungswiderstand der Flüssigkeiten 274
— Rheostat 251
Wiedemann, elektr. u. therm. Leiter 243
— elektr. Wanderung der Ionen . 330

Seite
Wiedemann, elektromagn. Drehung der Polarisations-Ebene 579
— Leitungswiderstand der Flüssigkeiten 277
— Magnetismus und Torsion . . . 384
— Spiegelgalvanometer 360
— specif. Magnetismus 602
— Wärmeleitung 858
Wild, Diathermanität des Wasserdampfes 838
— Thermoströme zwischen Flüssigkeiten 482
— Thermo-elektrisches Verhalten der Flamme 483
— unipolare Wärmeentwickelung . 302
Wilke, Elektrophor 98
William, Eisbild. bei niederer Temp. 927
Willigen, van der, Spectrum des negativen Glimmlichtes 527
Winter, Elektrisirmaschine 101
— Hygroelektrometer 106
Wöstyn, specif. Wärme 794
Wollaston, Elektrolyse durch Reibungselektricität 324
— hypsom. Thermometer 732
— Kryophor 760
Wollaston'sche Batterie 207
Wüllner, Dampf von Salzlösungen 740

Z.

Zamboni'sche Säule 200
Zantedeschi, Diamagnetismus der Flamme 594
Zeuner, Dichtigkeit d. Wasserdampfs 915
— mechanische Wärmetheorie . . 900
Zöllner, galvanisches Glühen . . . 300

ALPHABETISCHES INHALTSVERZEICHNISS.

A.

	Bd.	Seite
Aberration, sphärische der Hohlspiegel	I	525
— — der Linsen	I	578
— chromatische	I	608
Ablenkung der Magnetnadel durch den elektr. Strom	II	347
— prismatische	I	551
— — Messung derselben	I	592
Absorption der Gase durch feste Körper	I	231
— — — durch Flüssigkeiten	I	235
— der Wärmestrahlen	II	817
— — durch Gase	II	833
— des Lichtes in farbigen Körpern	I	613
— des Lichtes in Gasen	I	617
— des Lichtes in doppeltbrechenden Krystallen	I	924
Absorptiometer	I	237
Absorptionscoëfficient	I	238
Absolutes Maass für Magnetismus	II	64
— — für galvanische Ströme	II	456
— — für elektrischen Leitungswiderstand	II	561
Abstossung, magnetische	II	5
— elektrische	II	84
— elektrodynamische	II	429
— diamagnetische	II	585
Abweichung, magnetische	II	20
Accommodation	I	672
Achromatismus	I	604
Achromatische Linsen	I	607
Adhäsion	I	86
— zwischen festen und flüssigen Körpern	I	136
Aequator, magnetischer	II	24
Aequatorial	II	585
Aequivalent, calorisches	II	884
Aequivalent, chemisches	I	23
— endosmotisches	I	151
— mechanisches der Wärme	II	892
Aequivalentvolum	I	30
Aether	I	20. 32
Aetherdämpfe, Spannkraft derselben	II	707
Aggregatzustände	I	21
— Veränderung derselben durch die Wärme	II	677
Akustik	I	353
Alcarazzas	II	748
Alkalien, Elektrolyse derselben	II	314
Alkoholometer	I	123
Alkoholdämpfe, Spannkraft derselben	II	707
Allgemeine Schwere	I	9
Alternirende Ströme	II	531
Amalgam für Reibzeuge	II	87
Amalgamirtes Zink	II	322
Amplitude	I	273
Anelektrische Körper	II	82
Aneroidbarometer	I	222
Anion	II	320
Anker, magnetischer	II	16
Anlassen des Stahls	II	12
Anode	II	320
Ansatzröhren, ihr Einfluss auf die Ausflussmenge	I	327
Anziehung, magnetische	II	5
— elektrische	II	84
— elektrodynamische	II	429
Apophyllit	I	872
Aräometer, Nicholson's	I	118
— Scalen-	I	119
Arbeit	I	286
— äussere und innere	II	908
Armaturen, magnetische	II	16
Astatische Magnetnadeln	II	26

	Bd.	Seite
Astatische Ströme	II	424
Atherman	II	819
Atmosphäre	I	158
— Bestandtheile derselben . .	II	957
— Höhe derselben	II	958
Atmosphärendruck	I	169
Atom	I	18
Atomgewicht	I	26
Atomistische Theorie	I	18
Atomvolum	I	30
Auftrieb	I	110
Auge	I	667
Aureole	II	517
Ausdehnbarkeit	I	19
Ausdehnung, absolute der Flüssigkeiten	II	641
— beim Schmelzen	II	655
— durch die Wärme	II	620
— fester Körper	II	625
— flüssiger Körper	II	641
— gasförmiger Körper	II	659
— körperliche (cubische) . . .	II	634
— lineare	II	624
— scheinbare der Flüssigkeiten	II	644
Ausdehnungscoëfficient	II	624
Ausfluss durch Capillarröhren .	I	331
— — Oeffnungen in dünner Wand	I	320
Ausflussapparate	I	322
Ausflussgeschwindigkeit	I	321
— verschiedener Gase bei gleichem Druck	I	338
Ausflussmenge	I	325
Auslader, elektrischer	II	141
— Henley'scher	II	153
Ausströmen der Gase	I	335
— — durch poröse Wände . .	I	340
— der Elektricität	II	136
Axen, sphärischer Spiegel . . .	I	523
— der Linsen	I	560
— freie Rotations-	I	269
— krystallographische	I	89
— optische, einaxiger Kryst. .	I	819
— — zweiaxiger Krystalle . .	I	832
— secundäre, der Linsen . . .	I	573
Axial	II	585
Azimuth	I	802

B.

	Bd.	Seite
Bandspirale	II	368
Barometer	I	168
— Construction desselben . . .	I	169
— Schwankungen desselben . .	I	177
Barometerprobe	I	202
Baroskop	I	225
Batterie, Bunsen'sche	II	213
— constante	II	209
— Daniell'sche	II	209
— elektrische	II	144
— galvanische	II	200
Batterie, Grove'sche	II	211
— Wollaston's	II	208
Bäuche schwingender Saiten .	I	411
Beharrungsvermögen	I	6
Beobachtung	I	3
Beschleunigung	I	246
Beschleunigungswiderstand . .	I	288
Beugung des Lichtes	I	758
Beugungsgitter	I	774
Beugungsspalte	I	767
Beugungsspectra	I	761
Bewegung, beschleunigte . . .	I	246
— gleichförmige	I	244
— verzögerte	I	256
Bewegungswiderstand	I	288
— durch inducirte Ströme . .	II	552
Bifilardynamometer	II	439
Bifilarmagnetometer	II	68
Bilder der Concavspiegel . . .	I	528
— der Convexspiegel	I	532
— der Convexlinsen	I	576
— der Hohllinsen	I	578
— virtuelle	I	529
— ebener Spiegel	I	505
— photographische	I	661
Binden der Wärme beim Schmelzen	II	679
— — beim Verdampfen . . .	II	747
Blasebalgharmonika	I	442
Blasinstrumente	I	474
Blaserohr an Locomotiven . . .	I	344
Bleiloth	I	8
Blitz	II	993
Blitzableiter	II	996
Blitzröhren	II	175
Blitztafel	II	175
Bodendruck der Flüssigkeiten .	I	104
Bodentemperatur	II	954
Brachydiagonale	I	93
Brechung des Lichtes	I	535
— — in Gasen	I	554
— — doppelte	I	814
— Erklärung derselben durch die Vibrationstheorie	I	752
— der Wärmestrahlen	II	825
Brechungsexponent	I	538
— Bestimmung desselben . . .	I	
— der Fraunhofer'schen Linien		985
für verschiedene Substanzen .	I	
— Abhängigkeit desselben von		552
der Temperatur	I	600
— der Gase	I	554
Brechungsgesetz	I	536
Brechungsvermögen	I	554
Brechungswinkel	I	536
Bremsdynamometer	I	317
Brennlinien	I	533
Brennpunkt der Hohlspiegel . .	I	525
— der Sammellinsen	I	562
Brennweite	I	525
Brunnen, intermittirender . . .	I	177

	Bd.	Seite
Büschel, elektrische	II	176
Bussole	II	20

C.

	Bd.	Seite
Calmen	II	964
Calorescenz	II	839
Calorie	II	680
Calorimeter	II	781
Calorimotor, Hare's	II	209
Calorisches Aequivalent	II	884
Calorische Maschine	II	921
Camera lucida	I	699
— obscura	I	697
Capacität für Wärme	II	779
Capillarität	I	140
Capillarattraction	I	140
Capillarerscheinungen, Erklärung derselben	I	147
Centesimalthermometer	II	622
Centralbewegung	I	260
Centrifugalkraft	I	264
Centrifugalmaschine	I	264
Centripetalkraft	I	261
Chemische Aequivalente	I	23
— Wirkungen des Lichtes	I	660
— — des elektrischen Stromes	II	311
— Theorie des Galvanismus	II	342
Chromatische Aberration	I	608
— Polarisation	I	847
— Tonleiter	I	404
Chronoskop, elektrisches	II	418
Circularpolarisation	I	895
— des chlorsauren Natrons	I	893
— der Flüssigkeiten	I	969
— des Quarzes	I	885
— des Zinnobers	I	909
— durch Glimmerblättchen	I	896
— durch totale Reflexion	I	900
— durch Metallreflexion	I	901
Cirrus	II	976
Coërcitivkraft	II	12
Cohäsion	I	32
— der Flüssigkeiten	I	133
Cohäsionsdruck	I	136
Cohäsionskräfte	I	32
Collectivglas	I	711
Colloidsubstanzen	I	156
Combinationstöne	I	458
Comma	I	401
Communicirende Röhren	I	102
Commutator	II	425
Compass	II	22
Compensationspendel	II	636
Compensationsstreifen	II	637
Complementäre Farben	I	587
— — im polarisirten Lichte	I	859
Composanten	I	38
Compressionsmanometer	I	219
Compressionspumpe	I	214
Concavlinsen	I	560
Concavspiegel	I	522
Condensation der Dämpfe	II	720
— der Gase	II	720
Condensator, elektricher	II	168
— Fizeau's	II	511
— der Dampfmaschinen	II	773
Condensers, fürs Mikroskop	I	717
Conductor, der Elektrisirmaschine	II	101
Conische Refraction	I	841
Conjugirte Punkte	I	526, 568
Consonanten	I	485
Constante Batterie v. Becquerel	II	210.
— — von Bunsen	II	213
— — von Daniell	II	210
— — von Grove	II	211
Contactelektricität	II	192
Contacttheorie	II	191, 341
Continentalklima	II	951
Contractio venae	I	326
Contrastfarben	I	695
Convexlinsen	I	560
Convexspiegel	I	531
Cumulus	II	977
Curven, magnetische	II	75
Cylinder-Elektrisirmaschine	II	105
Cylinderlinse	I	740
Cylinderloupe	I	704

D.

	Bd.	Seite
Dampfbarometer	II	689, 699
Dampfbildung im leeren Raum	II	689
— im lufterfüllten Raum	II	727
Dämpfe, Dichtigkeit derselben	II	715
— Condensation derselben	II	720
— latente Wärme derselben	II	747
— specif. Gew. derselben	II	711
— Spannkraft derselben	II	694
— überhitzte	II	692
Dampf, gesättigter	II	692
— von Salzlösungen	II	739
Dampfstrahl-Pumpe	I	344
Dämpfung durch Inductionsströme	II	552
Dampfelektrisirmaschine	II	117
Dampfmaschine	II	765
Dauer des Lichteindrucks	I	689
— des elektrischen Funkens	II	179
Declination, magnetische	II	20
Declinationsbussole	II	20
Dehnbarkeit	I	77
Densimeter	I	121
Depression, capillare	I	139
Destillation	II	750
Dialyse	I	156
— der Gase	I	943
Diamagnetismus	II	573
— Theorie desselben	II	589
— der Flamme und der Gase	II	594
— der Krystalle	II	603

	Bd.	Seite
Diapason	I	429
Diakaustiken	I	580
Diathermanität	II	819
— der Gase	II	833
Diatonische Tonleiter	I	400
Dichroismus	I	924
Dichroskopische Loupe	I	924
Dichtigkeit	I	16
— verschiedener Dämpfe	II	715
— der Gase	II	675
— der Luft	II	675
— des Wasserdampfes	II	716, 915
Dichtigkeitsmaximum des Wassers	II	649
Didymoxyd	I	636
Differenzialthermometer	II	812
Differenzial-Widerstandsmesser	II	256
Differenztöne	I	460
Diffraction	I	735
Diffusionsanalyse	I	155
Diffusion der Flüssigkeiten	I	149
— der Gase	I	240
— der Lichtstrahlen	I	503
— der Wärmestrahlen	II	839
Digestor	II	735
Dioptrik	I	535
Diosmose	I	149
Disjunctor	II	503
Dispersion	I	581
— der optischen Axen	I	881
— geneigte und gekreuzte	I	881
— partielle	I	602
Dissonanz	I	458
Donner	II	993
Doppelspath	I	814
Doppelstrich	II	14
Doppelte Brechung	I	814
Doppelte Quarzplatte	I	912
Doppelplatte, Volta'sche	II	192
Doppelunterbrecher	II	491
Drache, elektrischer	II	992
Drehung d. Polarisationsebene	I	885
Drehung der Polarisationsebene durch magnetisirende Kräfte	II	574
Drehungsgesetz des Windes	II	966
Drehungsmoment, magnetisches	II	58
Drehungsvermögen, molekulares	I	923
Drehwage, Coulomb'sche	II	122
Druck der Luft	I	160
— hydrostatischer	I	105
Druckpumpe	I	166
Drucktelegraph	II	403
Dualisten	II	87
Duodecime	I	400
Duplet	I	704
Durchbohrung, elektrische	II	154
Dynamiden	I	21
Dynamik	I	37

E.

	Bd.	Seite
Ebene, schiefe	I	57
— — Fall auf derselben	I	257
Echappement	I	304
Echo	I	377
Ei, elektrisches	II	177
Einfallsloth	I	504
Einfallswinkel	I	504
Eisapparate	II	684, 763
Eis, doppelte Brechung desselb.	I	823, 872
— specif. Gewicht desselben	II	658
— Ausdehnung desselben	II	635
Eisen, passives	II	289
— magnetisches Verhalten desselben	II	9
Elasticität	I	76
— der Flüssigkeiten	I	129
— der Gase	I	159
Elasticitätsaxen, optische	I	826
Elasticitätscoëfficient	I	77
Elasticitätsgränze	I	78
Elasticitätsmodulus	I	77
Elasticitätsoberfläche	I	826
Elektricität	II	81
— atmosphärische	II	992
— durch Berührung	II	191
— durch Druck	II	185
— durch Reibung	II	81
— durch Vertheilung	II	89
— durch Wärme	II	186
— gebundene	II	139
— positive und negative	II	84
Elektrische Büschel	II	176
— Fische	II	612
— Fluida	II	86
— Funken	II	173
— Pendel	II	81
— Pistole	II	103
— Ströme	II	205
— Vertheilung	II	89
Elektrisches Licht	II	177, 522
Elektrisirmaschine	II	101
Elektrochemische Theorie	II	338
Elektroden	II	320
Elektrodynamik	II	429
Elektrodynamik, Weber's Theorie derselben	II	569
Elektrolyse	II	319
Elektrolyte	II	319
Elektrolytisches Gesetz	II	321
Elektromagnete	II	364
— Tragkraft derselben	II	365
Elektromagnetismus	II	364
— Gesetze desselben	II	369
Elektromagnetische Triebkraft	II	390
Elektrometer	II	93
Elektromotorische Kraft	II	193
— — verschiedener Rheomotoren	II	267

	Bd.	Seite
Elektromotorische Kraft der Gassäulen	II	289
Elektrophor	II	97
Elektroskop	II	93
Elektrotonischer Zustand	II	573
Elemente, chemische	I	23
— Volta'sche	II	198
— thermo-elektrische	II	460
Emanationstheorie	I	734
Emissionstheorie	I	734
Endosmose	I	148
— elektrische	II	333
Entzündung durch den elektrischen Funken	II	108
— durch den Entladungsschlag der Flasche	II	151
— — Inductionsfunken	II	318
Erdfernrohr	I	726
Erdinduction	II	556
Erdmagnetismus	II	20
Erdwärme	II	955
Excentrische Scheibe	II	771
Expansionskraft	I	32
Expansionsmaschine	II	776
Extra ordinärer Strahl	I	818
Extrastrom	II	496
Eiscalorimeter	II	781

F.

	Bd.	Seite
Fadenkreuz	I	724
Fall auf der schiefen Ebene	I	257
— freier	I	248
— im leeren Raume	I	210
Fallgesetz	I	246
Fallmaschine, Atwood's	I	249
Fallrinne	I	249
Farben, complementäre	I	587
— der Flammen	I	618
— doppeltbrechender Körper im polarisirten Lichte	I	846
— dünnerer Blättchen	I	785
— dünner Gypsblättchen	I	846
— durchsichtiger Körper	I	612
— homogene	I	583
— prismatische	I	582
— subjective	I	693
— undurchsichtiger Körper	I	614
Farbenglas, Newton's	I	785
Farbenringe 1-axiger Krystalle	I	860
— Newton'sche	I	785
— Nobili'sche	II	337
— 2-axiger Krystalle	I	873
Farbenspectrum	I	581
Farbenzerstreuung	I	581
Federwage, Jolly's	I	81
Federwolke	II	976
Feldstecher	I	722
Fernrohr, astronomisches	I	723
— holländisches	I	720
— terrestrisches	I	726
Fernsichtigkeit	I	674
Festigkeit	I	84
Feuerspritze	I	224
Feuerzeug, pneumatisches	II	806
— Döbereiner's	I	233
Fische, elektrische	II	612
Flammen, elektrische Wirkung derselben	II	136
— thermo-elektrisches Verhalten derselben	II	483
— gefärbte	I	618
— manometrische	I	945
Flammenbogen, galvanischer	II	301
Flammenspectra	I	623
Flasche, Leydener	II	143
— Lane's	II	158
Flaschenzug	I	45
Fliegen	I	350
Fliehkraft	I	264
Flugrad, elektrisches	II	138
Fluida, magnetische	II	6
— elektrische	II	86
Fluorescenz	I	639
— durch elektrisches Licht	II	304
Focaldistanz	I	525
Focus der Convexlinsen	I	562
— der Hohlspiegel	I	525
— optischer u. chemischer	I	611
Folgepunkte	II	15
Freiwerden der gebundenen Wärme	II	685
Frictionsrollen	I	314
Froschschenkel, stromprüfender	II	605
Froschstrom	II	608
Fundamentalabstand	II	621
— Oersted's	II	347
Fundamentalversuch Volta's	II	191
Funke, durch Inductionsströme	II	507
— elektrischer	II	89, 173
— — Dauer desselben	II	179
— galvanischer	II	310
Funkeninductor	II	507
Funkenmikrometer	II	160
Funkenspectra	I	628
Fusspfund	I	287

G.

	Bd.	Seite
Galvanismus	II	189
Galvanische Polarisation	II	279
— Vergoldung	II	337
— Wasserzersetzung	II	311
Galvanisches Glühen	II	297
— Tönen	II	384
Galvanometer	II	354
Galvanoplastik	II	334
Ganzer Ton	I	400
Gasbatterie	II	287
Gase	I	22
— Absorption derselben	I	231

	Bd.	Seite
Gase, Bewegung derselben	I	335
— Brechung des Lichtes durch dieselben	I	554
— specifisches Gewicht ders.	I 15. II	672
— specifische Wärme ders.	II	797
Gasspectra	I	628
Gasvolumina Reduction ders.	II	670
Gedeckte Pfeifen	I	382
Gefässbarometer	I	171
Gefrierpunkt	II	621
— Veränderung desselben durch Druck	II	926
Gehörorgan	I	485
Geräusch	I	369
Geruch, elektrischer	II	185
Geschwindigkeit	I	245
— der Elektricität	II	182
— des galvanischen Stromes	II	410
— des Lichtes	I	492
— des Lichtes in Wasser	I	754
— des Schalles in festen Körpern	I	439
— — — in Flüssigkeiten	I	376
— — — in Luft	I	371
Gesichtsfeld	I	708
Gesichtswinkel	I	681
Gewicht	I	9
— specifisches	I	11
Gewichtsverlust im Wasser	I	111
Gewichtsthermometer	II	644
Gewitter	II	993
Gitter, Beugungs-	I	774
Gitterspectra	I	774
Glaselektricität	II	84
Glasharmonika	I	427
Glasplattensäule	I	806
Gleichgewicht d. Flüssigkeiten	I	99
— der Gase	I	158
— der Theilchen fester Körper unter sich	I	76
— fester Körper	I	67
— labiles und stabiles	I	67
— schwimmender Körper	I	114
Gleichschwebende Temperatur	I	403
Glimmerblättchen, circular-polarisirende	I	896
Glimmlicht, elektrisches	II	525
— magnetisches Verhalten desselben	II	530
Glockenspiel, elektrisches	II	107
Glühen, galvanisches	II	297
Goldblattelektrometer	II	94
Goniometer	I	509
Gränztemperatur für Magnetismus	II	79
Gränzwinkel	I	542
Gramm	I	9, 935
Gravitation	I	9
Grundton	I	395
Gusseisen, magnetisches Verhalten desselben	II	375
Gymnotus	II	614
Gyroskop	I	271
Gyrotrop	II	425

H.

	Bd.	Seite
Haarröhrchen	I	140
Hagel	II	981
Hahn Babinet's	I	203
— Grassmann's	I	206
— Senguard's	I	203
Hahnenluftpumpe	I	204
Halber Ton	I	401
Halbkugeln, Magdeburger	I	209
Halbschatten	I	494
Hammer, magnetischer	II	489
Handluftpumpe	I	196. 216
Harmonisches Mittel	I	307
Harzelektricität	II	84
Haspel	I	54
Hauchbilder	I	233
Hauptschnitt	I	825
Hauptspirale	II	486
Hebel	I	47
— einarmiger	I	50
Hebelarm	I	49
Hebelpyrometer	II	625
Heber	I	162
Heberbarometer	I	174
Heliostat	I	515
Hemiëdrie	I	95
Hemmung	I	304
— durch inducirte Ströme	II	552
Heronsball	I	222
Heronsbrunnen	I	222
Hochdruckmaschine	II	773
Höfe	II	987
Hohlprismen	I	548
Hohlspiegel	I	523
Hohllinsen	I	571
Homogenes Licht	I	283
Hörrohr	I	380
Horizontal	I	8
Horopterfläche	I	679
Hörbarkeit, Gränzen derselben	I	947
Hufeisenmagnet	II	16
Hydraulische Presse	I	100
Hydrodynamik	I	320
Hydro-Elektrisirmaschine	II	117
Hydrostatik	I	99
Hydrostatische Wage	I	116
Hygro-Elektrometer	II	107
Hygrometer	II	970
Hygroskopische Körper	I	233
Hyperbolische Büschel	I	875
— Curven	I	883
Hypomochlion	I	49
Hypothesen	I	3

	Bd.	Seite

I.

Idio-elektrische Körper	II	82
Immersionsobjectiv	I	717
Imponderabilien	I	32
Inclination, magnetische	II	23
— — Bestimmung ders.	II	41
— Bestimmung ders. durch Erdinduction	II	556
Inclinatorium	II	24
Induction durch elektr. Ströme	II	485
— durch Erdmagnetismus	II	555
— durch Magnete	II	532
— durch Reibungselektricität	II	494
— unipolare	II	534
— Verstärkung derselb. durch Eisen	II	500
Inductionsapparate	II	432
Inductionsfunken	II	507
— im leeren Raume	II	522
Inductionsinclinatorium	II	559
Inductionsströme höherer Ordnung	II	567
Influenzelektricität	II	89
Influenz-Elektrisirmaschine	II	110
Insolation	II	940
Intensität des Erdmagnetismus	II	38
— der Erleuchtung	I	496
— der Töne	I	370
— diamagnetischer Kräfte	II	596
Intensitätsinductor	II	543
Interferenz der Lichtwellen	I	736. 748
— der Schallwellen	I	451
— der Wärmestrahlen	II	850
Interferenzprisma	I	739
Interferenzröhre, Nörremberg's	I	452
— Quincke's	I	454
Interferenzspectrum-Platte	I	782
Interferenzspiegel	I	738
Interferenzstreifen	I	738
Intermittirender Brunnen	I	177
Interruptor	II	509
Intervalle, musikalische	I	401
Invertzucker	I	920
Ionen	II	320
Irradiation	I	687
Irrlichter	II	989
Isochimenen	II	449
Isochronismus der Pendelschwingungen	I	276
Isogonische Linien	II	998
Isoklinische Linien	II	998
Isolation durch den leeren Raum	II	527
Isolatoren, elektrische	II	83
Isolirschemel	II	108
Isotheren	II	949
Isothermen	II	946

K.

Kaleidophon	I	428
Kaleidoskop	I	508
Kälte durch Auflösung von Salzen	II	683
— durch elektrische Ströme	II	477
— durch Verdampfung	II	759
Kältemischungen	II	682
Katakaustiken	I	534
Katethometer	II	692
Kathode	II	320
Kation	II	320
Katoptrik	I	503
Kaustische Linien	I	534
Kehlkopf	I	479
Keil	I	62
Kernschatten	I	494
Kette, geschlossene und offene	II	200
— galvanische	II	200
Kilogramm	I	935
Kilogramm-Meter	I	287
Klang	I	369
Klangfarbe, Klangcharakter	I	369
— Ursache derselben	I	460
— der musikalischen Instrumente	I	476
— der menschlischen Stimme	I	483
Klangfiguren	I	415
Knotenlinien	I	416
Knotenpunkte	I	412
Kohlencylinder	II	213
Kohlenlicht, elektrisches	II	303
Kohlenplatten	II	215
Kohlensäure, Absorption derselben	I	231
— feste	II	761
— flüssige	II	721
Korkkugeltanz, elektrischer	II	107
Kräfte	I	32
Kreisel	I	270
Kreisprocess	II	916
Kreisstrich	II	15
Kreuzungspunkt	I	672
Kryophor	II	760
Krystalle, optisch einaxige	I	822
— optisch zweiaxige	I	832
— pyro-elektrische	II	188
Krystallisation	I	87
Krystalloidsubstanzen	I	156
Krystallsysteme	I	89
Kugelelektrometer	II	94
Kurzsichtigkeit	I	674
Küstenklima	II	951

L.

Ladungssäule	II	280
Ladungsscheibe, elektrische	II	140
Längenmaass	I	304

	Bd.	Seite
Längenschwingungen	I	438
Längentöne	I	438
Lampe, elektrische	II	308
Latente Wärme der Dämpfe	II	748
— — der Flüssigkeiten	II	680
Laterna magica	I	707
Legirungen, Schmelzpunkte derselben	II	678
— elektrischer Leitungswiderstand derselben	II	243
Lebendige Kraft	I	284
Leiter der Elektricität	II	82
— erster und zweiter Ordnung	II	194
Leiter der Wärme	II	854
Leitungsfähigkeit, thermische	II	854
Leitungswiderstand, elektr.	II	222
— der Flüssigkeiten	II	272
— der Metalle	II	242
— Einheit desselben	II	247
— wesentlicher	II	222
Lemniscaten	I	874
Leuchtsteine	I	651
Leydener Flasche	II	143
Lichtabsorption in farbigen Flüssigkeiten und Gläsern	I	612
— in farbigen Gasen		617
Lichtbilder	I	661
Licht, chemische Wirkungen desselben	I	660
— Geschwindigkeit desselben	I	492
— elektrisches	II	174. 523
Lichtbogen, galvanischer	II	301
Lichteindruck, Dauer desselben	I	689
Linksdrehend (optisch)	I	885
Linsen	I	560
— achromatische	I	607
— Sammel-	I	560
— Zerstreuungs-	I	560
Linsenbilder	I	576
Liter	I	935
Lithiumlinie	I	624
Localbatterie	II	408
Locale Wirkung	II	322
Longitudinalschwingungen	I	438
Loupe	I	701
— Brücke'sche	I	723
— dichroskopische	I	924
Luft	I	158
— Elasticität derselben	I	159
— Gewicht derselben	I	153
	II	673
Luftballon	I	225
Luftdruck	I	160
Luftlinien	I	634
Luftperspective	I	677
Luftpumpe	I	196
Luftpyrometer	II	669
Luftsäulen, selbsttönende	I	380
Luftthermometer	II	668
— elektrisches	II	163
Luftwellen, stehende	I	382

M.

	Bd.	Seite
Maass, absolutes magnetisches	II	58
Maassflasche, elektrische	II	158
Maass-Systeme	I	304
Magazin, magnetisches	II	18
Magdeburger Halbkugeln	II	209
Magnete, natürliche	II	3
— künstliche	II	3
Magneteisen	II	3
Magnetische Curven	II	75
— Fluida	II	6
— Polarität	II	4
— Wirkung der Erde	II	25
— — der galvanischen Ströme	II	348
— — des Lichtes	II	79
— — der Reibungselektricität	II	383
Magnetisirung durch galvanische Ströme	II	364
— durch Erdmagnetismus	II	40
— durch Elektromagnete	II	369
— durch Stahlmagnete	II	13
Magnetismus	II	3
— Abnahme desselben durch die Wärme	II	78
— Ampère's Theorie desselben	II	442
— Gesetze der Anziehung und Abstossung desselben	II	48
— Vertheilung desselben in Magnetstäben	II	70
— specifischer	II	602
Magnetinduction	II	532
Magnetkrystallaxe	II	603
Magnet-Elektrisirmaschine	II	538
Magnet-Inductionsmaschine	II	538
Magnetkraft-Linien	II	75
Magnetnadel	II	5
Magnetometer	II	27
— transportabeles	II	31
Makrodiagonale	I	93
Manometer	I	216
Mariotte'sches Gesetz	I	182
— — Abweichungen von demselben	I	192
— — Anwendungen desselben	I	187
Masse	I	6. 10
Massentheilchen	I	21
Maximum der Dichtigkeit des Wassers	II	649
— der Magnetisirung	II	372
— der Spannkraft der Dämpfe	II	690
Mechanik	I	35
Mechanische Wärmetheorie	II	889
— — Elemente derselben	II	908
— — erstes Gesetz derselben	II	909
— — zweites Gesetz derselben	II	919
Meridian, magnetischer	II	20
Messung der Lichtstärke	I	497
— der Spannkraft der Dämpfe	II	694
— galvanischer Ströme	II	224

	Bd.	Seite
Metacentrum	I	115
Metallklang	I	477
Metallreflexion	I	901
Metallthermometer	II	638
Metallmanometer	I	220
Meteorsteine	II	990
Meter	I	304
Meterkilogramm	I	287
Mikrometerschraube	I	62
Mikroskop, achromatisches	I	709
— binoculares	I	718
— einfaches	I	701
— pankratisches	I	713
— zusammengesetztes	I	707
Mittellinie, magnetische	II	4
— zweiaxiger Krystalle	I	834
Mörser, elektrischer	II	157
Molekül	I	21
Molekularbewegung, thermische	II	32
Molekularkräfte	I	935
Molekularmagnete	II	8
Molekularströme	II	593
Moment, der Trägheit	I	289
— magnetisches eines Kreisstroms	II	453
— statisches	I	49
Monochord	I	423
Mostwage	I	126
Motoren, elektromagnetische	II	390
— Theorie derselben	II	397
— Moussons	II	962
Multiplicator	II	354
Mundharmonika	I	442
Muskelstrom	II	607
Myopie	I	674

N.

	Bd.	Seite
Nachbilder	I	692
Nadel, elektrische	II	82
Naturgesetz	I	2
Naturlehre	I	2
Naturtöne	I	475
Nebel	II	975
Nebensonnen	II	988
Nebenspirale	II	486
Negativ, optisch	I	822
— elektrisch	II	84
Nervenstrom	II	612
Netzhaut	I	667
Niederdruckmaschine	II	772
Nordlicht	II	1000
Nordpol, magnetischer	II	6
Nullpunkt, der Thermometer	II	622
— absoluter, der Wärme	II	918

O.

	Bd.	Seite
Oberfläche, freie der Flüssigkeiten	I	104
Obertöne	I	395.462
— Beobachtung derselben	I	468
Objectiv für Fernrohre	I	720
Objectiv für Mikroskope	I	707
Octave	I	399
Ocular, astronomisches	I	723
Ocular für Mikroskope	I	707
— Campani's	I	711
— Galiläi'sches	I	721
— Ramsden's	I	713
— terrestrisches	I	726
Ohr	I	485
Optik	I	489
Optometer	I	674
Ordinärer Strahl	I	818
Orgelpfeifen	I	392
Oscillation	I	273
Ozon	II	185

P.

	Bd.	Seite
Pachytrop	II	220.543
Parallelepiped, Fresnel's	I	901
Parallelogramm der Kräfte	I	37
Partialtöne	I	462
Passatwind	II	962
Passivität des Eisens	II	289
Pendel, einfaches	I	273
— elektrisches	II	81
— materielles	I	295
Pendelbewegung	I	281
Pendelgesetze	I	274
— mathematische Entwickelung derselben	I	278
Pendeluhr	II	302
Perpetuum mobile, elektrisches	II	202
Pfeifen	I	392
Pferdekraft	I	287
Phenakistoskop	I	690
Phonautograph	I	436.404
Phosphorescenz	I	650
Phosphoroskop	I	654
Photometer	I	497
Photographie	I	661
Physharmonika	I	442
Physiologische Wirkungen der Leydener Flasche	II	151
— — des Inductionsstroms	II	492
Piezometer	I	129
Pleochroismus	I	928
Pneumatisches Feuerzeug	II	807
Polarisation, chromatische	I	846
— der Lichtstrahlen	I	799
— der Wärmestrahlen	II	848
— elliptische	I	896
— galvanische	II	279
— — Ursache derselben	II	286
— optische	I	799
Polarisationsapparat	I	800
— mikroskopischer	I	864
Polarisationsebene	I	802

	Bd.	Seite
Polarisationsebene, Drehung derselben durch magnetisirende Kräfte	II	574
Polarisationsmikroskop	I	930
Polarisationswinkel	I	805
Polariskop	I	884
Polaristrobometer	I	914
Pole der Volta'schen Säule	II	200
— magnetische	II	4. 73
— — der Erde	II	1000
Positiv, elektrisch	II	84
— optisch	I	822
Presbyopie	I	674
Presse, hydraulische	I	100
— Schrauben-	I	61
Prisma, Nicol'sches	I	831
Prismen	I	546
— achromatische	I	605
— doppeltbrechende	I	830
Probeobjecte, mikroskopische	I	716
Probeplatte, Nobert's	I	716
Probescheibchen, elektrisches	II	90
Procentaräometer	I	125
Psychrometer	II	972
Pumpen	I	164
Pyknometer	I	11
Pyroelektricität	II	188
Pyropapier, Elektricität desselben	II	87

Q.

	Bd.	Seite
Quadrantenelektrometer	II	106
Quantitätsinductor	II	543
Quarte	I	399
Quarz, Circularpolarisation desselben	I	885
— doppelte Brechung desselben	I	823
— Ringe senkrecht zur Axe	I	908
Quarzplatte, doppelte	I	912
Quecksilber, Gefrieren desselben im glühenden Tiegel	II	744
Quecksilbercalorimeter	II	875
Quecksilber-Interruptor	II	513
Quecksilberluftpumpe	I	211
Quecksilberthermometer	II	619
Quellentemperatur	II	955
Quintaten	I	476
Quinte	I	399

R.

	Bd.	Seite
Radbarometer	I	179
Räderwerke	I	55
Randwinkel	I	139
Raum, schädlicher	I	203
Reaction des ausfliessenden Strahles	I	333
— der ausströmenden Elektricität	II	138
Reaction durch inducirte Ströme	II	551
Reactionsräder	I	334
Rechtsdrehend, optisch	I	885
Reduction der Gasvolumina auf den Normaldruck	I	187
— der Gasvolumina	II	670
Reflexion der Lichtstrahlen	I	503
— des Schalles	I	377
— totale	I	543
Reflexionsgoniometer	I	508
Reflexionskreis	I	514
Reflexionswinkel	I	504
Regen	II	978
Regenbogen	II	985
Regenmesser	II	978
Regulator	II	772
Reibung, gleitende	I	310
— wälzende	I	313
— Nutzen derselben	I	316
— Wärmeentwickelung durch	II	887
Reibungselektricität	II	81
Reibzeug, d. Elektrisirmaschine	II	101
Reif	II	975
Reisetheodolit	II	33
Relais	II	407
Remanenter Magnetismus	II	381
Residium, elektrisches	II	147
— magnetisches	II	381
Resonanzboden	I	449
Resonanzkugeln	I	469
Resonatoren	I	469
Resultirende	I	38
Reversionspendel	I	301
Rheocord	II	254
Rheometer, elektrochemisches	II	229
— elektromagnetisches	II	229
Rheomotoren, galvanische	II	200
Rheoskop	II	345
Rheostat	II	251
Rheotom	II	488
Rhomboëder	I	97
Ringe, Nobili'sche	II	337
Rolle	I	43
Rostpendel	II	636
Rotation des elektrischen Lichtstroms	II	528
— eines beweglichen Stroms um einen festen	II	452
— einer Magnetnadel über einer rotirenden Kupferscheibe	II	554
— eines galvanischen Stromes um einen Magneten	II	445
— eines Magnets um einen Strom	II	449
— eines Magnets um sich selbst	II	451
Rotationsapparat, magnetoelektrischer	II	539
Rückschlag, elektrischer	II	109

	Bd.	Seite
S.		
Saccharimeter	I	916
Saiten, Töne derselben	I	422
Saiteninstrumente	I	475
Sättigungspunkt der Dämpfe	II	690
— magnetischer	II	76
Sammelbilder	I	529
Sammellinsen	I	560
Saugen des ausfliessenden Wasserstrahls	I	329
Saugen durch ausströmende Gase	I	343
Saugpumpe	I	164
Säule, trockene	II	200
Säule, Volta'sche	II	196
Säulenelektrometer	II	203
Säuren	I	26
Scala der Thermometer	II	622
Scalenaräometer	I	119
Schall	I	355
Schallgeschwindigkeit in Luft	I	372
— in Flüssigkeiten	I	375
— in festen Körpern	I	440
Schallwellen	I	365
Schatten	I	494
— farbige	I	696
Scheiben-Elektrisirmaschine	II	101
Schiefe Ebene	I	57
Schiffsschraube	I	347
Schlagweite	II	159
Schlittenapparat	II	493
Schmelzen	II	676
Schmelzpunkt	II	676
Schmelzungswärme	II	680
Schnee	II	981
Schneegränze	II	956
Schnellloth	II	679
Schnellwage	I	49
Schraube	I	59
Schraubendraht, elektrodynamischer	II	424
Schraubenpresse	I	61
Schraubenturbine	I	347
Schraubenwinde	I	61
Schwarzschreiben	I	409
Schweben	I	114
Schwebungen, akustische	I	454
Schwefelkohlenstoff, Brechungsexponenten desselben	I	599
— Spannkraft seiner Dämpfe	II	707
Schwere	I	8
Schwerpunkt	I	64
Schwimmen	I	114
Schwingungen, stehende	I	357
— fortschreitende	I	357
— gestrichener Saiten	I	422
Schwingungscurve	I	283
— graphische Darstellung derselben	I	436
Schwingungsebene polarisirter Lichtstrahlen	I	809
Schwingungsform	I	461
Schwingungszahl	I	371
Schwingungsknoten	I	396
— in gedeckten Pfeifen	I	390
— in offenen Pfeifen	I	391
— in tönenden Saiten	I	411
Schwingungspunkt	I	295
Schwingungszahl verschiedener Töne	I	404
— der Stimmgabeln	I	436
Schwungkraft	I	263
Schwungmaschine	I	264
Secundäre Action	II	325
— Axen	I	573
— Säule	II	281
Secundenpendel	I	296
Sehen, deutliches	I	672
Sehweite	I	673
Sehwinkel	I	676
Seifenblasen	I	785
Seilwellen	I	362
— stehende	I	410
Seitendruck ausströmender Flüssigkeiten	I	331
— ausströmender Gase	I	341
— ruhender Flüssigkeiten	I	109
Seitenkräfte	I	38
Septime	I	400
Sext	I	400
Sicherheitslampe	II	855
Sicherheitsröhre	I	217
Sicherheitsventil	I	52
Sieden bei niederem Druck	II	731
— bei hohem Druck	II	733
Siedepunkt der Salzlösungen	II	737
— normaler	II	708
— anomale Variationen desselben	II	741
Siedepunkte	II	742
— am Thermometer	II	621
— Abhängigkeit derselben vom Druck	II	730
Sinusbussole	II	352
Sinuselektrometer	II	132
Sirene	I	405
Solenoid	II	424
Sonnenmikroskop	I	705
Spannkraft der Dämpfe	II	689
— Maximum derselben	II	690
Spannkraftsgesetz	II	702
Spannkraftstabellen	II	706
Spannungsreihe, elektrische	II	195
Specifisches Gewicht	I	11
Specifischer Leitungswiderst.	II	241
— Magnetismus	II	602
Specifische Wärme	II	778
— — absolute	II	933
— — der Gase	II	797
— — starrer Elemente	II	791

	Bd.	Seite
Specifische Wärme zusammengesetzter Körper	II	792
Spectra elektrischer Funken	I	628
— erster und zweiter Ordnung	II	526
— farbiger Flammen	I	623
— glühender Gase	II	526
Spectralanalyse	I	625
Spectralapparat	I	620
Spectrometer	I	594
Spectrum	I	548.581
— photographirtes	I	664
Sphäroidaler Zustand	II	745
Spiegel, ebene	I	503
— sphärische	I	523
Spiegelgalvanometer	II	359
Spiegelmetall	I	507
Spiegelsextant	I	511
Spiegelteleskop	I	730
Spiegelung, Erklärung derselben durch die Vibrationstheorie	I	751
Spiegelversuch, Fresnel's	I	737
Spitzen, elektrische Wirkung derselben	II	136
Sprachrohr	I	380
Sprengen, durch den Flaschenfunken	II	152
— durch galvanisches Glühen	II	301
— durch Inductionsfunken	II	518
Sprödigkeit	I	77
Stahl, magnetisches Verhalten desselben	II	11
Stabilität	I	69
Statik	I	37
Statisches Moment	I	49
Staubfiguren, elektrische	II	173
Stechheber	I	162
Stereometer	I	187
Stereoskop	I	681
Sternschnuppen	II	
Steuerung der Dampfmaschine	II	769
Stimmgabel	I	429
— optische Vergleichung derselben	I	430
Stimmgabelcurven	I	431
Stimmorgan	I	479
Stimmpfeife	I	395
Störungen, magnetische	II	37
Stoss	I	305
Stösse, akustische	I	454
Strahlende Wärme	II	811
Strahlungsvermögen	II	816
— der Gase	II	846
Streichinstrumente	I	476
Streifung des elektr. Lichtes	II	523
Stroboskopische Scheibe	I	690
Strohhalmelektrometer	II	94
Strom, elektrischer	II	205
— inducirter	II	485
— hydro-elektrischer	II	200
— thermo-elektrischer	II	460
Stromstärke	II	222
— absolutes Maass derselben	II	456
— chemisches Maass derselben	II	229
Stromverzweigung	II	238
Stromwender, galvanischer	II	425
Stürme	II	968
Südpol, magnetischer	II	6
Summationstöne	I	460
Symmetrische Ebene	I	94

T.

	Bd.	Seite
Tabelle der linearen Ausdehnung fester Körper	II	632
— — — des Wassers	II	653
— der Blutwärme verschiedener Thiere	II	872
— der Brechungsexponenten	I	538
— — — der Gase	I	558
— — — verschiedenfarbiger Strahlen	I	589
— der Compressibilität der Flüssigkeiten	I	131
— der Declination für Paris von 1850 bis 1835	II	37
— der Dichtigkeit der Dämpfe verschiedener Flüssigkeiten	II	713
— — — des Wasserdampfes	II	716,915
— — — verschiedener Gase	II	675
— der Elasticität fester Körper	I	79
— der endosmotischen Aequivalente	I	152
— der Festigkeit	I	85
— der mittleren Lufttemperatur verschiedener Orte	II	947
— der partiellen Dispersion	I	603
— der Regenmenge verschiedener Orte	II	979
— der Schmelzpunkte	II	678
— der Spannkraft der Dämpfe verschiedener Flüssigkeiten	II	707
— — — des Wasserdampfs	II	706,914
— des specifischen Gewichts fester Körper	I	14
— — — — flüssiger Körper	I	15
— — — — gasförm. Körper	I	15
— — — — pulverförmiger Körper	I	190
— der specifischen Wärme der Gase	II	805
— — — — fester Elemente	II	791
— — — — zusammengsetzter Körper	II	793
— der Verbrennungswärme verchiedener Körper	II	867
— des Siedepunktes des Wassers bei verschiedenem Druck	II	733
— des Siedepunktes gesättigter Salzlösungen	II	737
— — — verschiedener Flüssigkeiten	II	742

	Bd.	Seite
Tabelle des elektrischen Leitungswiderstandes der Flüssigkeiten	II	277
— — Wärmeleitungsfähigkeit fester Körper	II	859
— — — — der Metalle	II	242
— optisch einaxiger Krystalle	I	822
— optisch zweiaxiger Krystalle	I	833
— zur Vergleichung der Thermometerscalen	II	624
— zur Verwandlung des Metermaasses	I	934
Tafel, Franklin'sche	II	140
Tangentenbussole	II	230
— Gaupin's	II	351
— Aichung derselben	II	233
Tangentialkraft	I	261
Telegraphie, elektrische	II	402
Telephon	II	386
Teleskope	I	730
Temperatur	II	619
— der Quellen	II	955
— des Bodens	II	954
— gleichschwebende	I	403
— höherer Luftregionen	II	955
— mittlere	II	945
— musikalische	I	403
Temperaturerhöhung durch Compression	II	806
— durch Erstarrung flüssiger Körper	II	686
— durch Condensation von Dämpfen	II	748
Terz	I	399
Thau	II	974
Theibarkeit	I	16
Theodolit, magnetisches	II	33
Thermochrose	II	831
Thermo-elektrische Säule	II	472
— Elemente	II	459
— Spannungsreihe	II	462
— Ströme	II	459
Thermometer	II	619
— elektrisches	II	163
— hypsometrisches	II	732
Thermometerscalen	II	622
Thermomultiplicator	II	813
Thermosäule, lineare	II	828
Thierische Elektricität	II	605
— Wärme	II	871
Thonzellen	II	209
— verschiedene Güte derselben	II	261
Töne, der Orgelpfeifen	I	392
— der Zungenpfeifen	I	441
— elastischer Stäbe	I	426
— gespannter Saiten	I	422
— musikalische	I	399
Tönen, galvanisches	II	384
Tonhöhe	I	369
Tonstärke	I	369
Tonleiter, diatonische	I	400
Tonleiter, chromatische	I	404
Tornados	II	968
Torpedo	II	612
Torsion	I	83
Torsionswage	II	46.122
Torsionselasticität	I	83
Totale Reflexion	I	543
Trägheit	I	6
Trägheitsmoment	I	289
— Berechnung desselben	I	299
— experiment. Best. dess.	I	292
Tragkraft der Elektromagnete	II	379
— der Stahlmagnete	II	18
Trichroismus	I	928
Triebkraft, elektromagnetische	II	390
Triplet	I	704
Trockene Säule	II	200
Trogapparat	II	206
Tromben	II	969
Tropfenbildung	I	133
Turmalin, polarisirende Eigenschaften desselben	I	807
— Pyro-Elektricität desselben	II	186
Turmalinzange	I	808

U.

	Bd.	Seite
Ueberführung, mechanische durch den Strom	II	332
Uebersetzung	I	55
Uhren, elektrische	II	415
— galvanisch registrirende	II	412
— elektro-magnetische	II	417
— Pendel-	I	302
Undulationstheorie	I	734
Undurchdringlichkeit	I	6
Unipolare Induction	II	534
Unitarier	II	87
Unterbrechungsrad	II	488

V.

	Bd.	Seite
Variationen der Intensität des Erdmagnetismus	II	67
— des Barometers	I	177
— im Wassergehalte der Luft	II	973
— magnetische	II	36
Ventilluftpumpe	I	199
Verbrennungswärme	II	866
Verdunstung	II	746
Vergoldung, galvanische	II	337
Vergrösserung der Fernrohre	I	728
— der Loupen	I	703
— der Mikroskope	I	715
Vergrösserungsspiegel	I	522
Verkleinerungsspiegel	I	522
Versuch	I	3
Vertheilung, elektrische	II	89
— magnetische, im Querschnitt der Eisenstäbe	II	381

	Bd.	Seite
Vertheilung, magnetische, in der Längenrichtung d. Magnetstäbe	II	72
Vertical	I	8
Vibrationschronoskop	II	519
Vibrationsmikroskop	I	434
Vibrationstheorie	I	734
Virtuelle Bilder	I	529
Vocale	I	484
Volta-Induction	II	572
Voltameter	II	224
— für getrennte Gase	II	313
Volumeter	I	120
Volumenometer	I	188

W.

	Bd.	Seite
Wage	I	71
— hydrostatische	I	116
— Mohr'sche	I	117
Wärme	II	619
— latente oder gebundene der Dämpfe	II	747
— — der Flüssigkeiten	II	680
— specifische	II	778
— Wesen derselben	II	888
Wärmeäquivalent	II	892
Wärmecapacität	II	778
— absolute	II	933
— bei constantem Volumen	II	807
— der Gase bei constantem Druck	II	807
Wärmeeinheit	II	680
Wärmeentwickelung	II	302
— durch chemische Processe	II	874
— durch d. Entladungsschlag	II	163
— durch Gasabsorption	I	232
und	II	879
— durch inducirte Ströme	II	554
— durch Reibung	II	887
— durch Ueberwindung elektrischer Widerstände	II	553
— galvanische	II	293
Wärmefarbig	II	831
Wärmeleitung	II	853
Wärmeleitungsfähigkeit der Flüssigkeiten	II	861
— der Gase	II	864
— der Krystalle	II	860
— der Metalle	II	858
Wärmespectrum	II	827
— des elektrischen Lichtes	II	830
Wärmestoff	II	888
Wärmestrahlen, Absorption derselben	II	817
— Brechung derselben	II	825
— Diffusion derselben	II	818
— Durchgang derselben durch verschiedene Körper	II	819
— Interferenz derselben	II	850
— Polarisation derselben	II	848
— Reflexion derselben	II	818
Wärmestrahlen, Wellenlänge derselben	II	829
Wärmestrahlung	II	811
Wärmestrahlungsvermögen	II	816
Wärmetheorie, mechanische	II	889
Wasser, Dichtigkeitsmaximum desselben	II	649
— elektrischer Leitungswiderstand desselben	II	273
Wasserbatterie, Gassiot's	II	311
Wasserdampf, Dichtigkeit desselben	II	715
— Spannkraft desselben	II	701
Wassergefälle, lebendige Kraft derselben	I	334
Wasserhosen	II	968
Wasserpfeifen	I	440
Wasserrad, Segner's	I	333
Wasserthermometer	II	652
Wasserwage	I	103
Wasserwellen	I	358
Wasserzersetzung, galvanische	II	311
Weingeistthermometer	II	624
Weitsichtig	I	674
Wellen	I	357
Wellenlänge	I	362
— d. äusserst. Wärmestrahlen	II	829
— ultravioletter Strahlen	I	781
— verschiedener Töne	I	395
— verschiedenfarbiger Lichtstrahlen	I	779
Wellenoberfläche	I	744
— einaxiger Krystalle	I	820
— zweiaxiger Krystalle	I	836
Wellenscheibe	I	369
Widerstand der Luft	I	344
Widerstandseinheit, elektrische	II	247
Widerstandsetalon	II	247
Widerstandssäule	II	251
Wind	II	961
— elektrischer	II	137
Windbüchse	I	215
Winddrehung	II	966
Windmesser	I	216
Winkelspiegel	I	507
Wippe, Poggendorff's	II	281
Wolken	II	975
Wunderscheibe	I	690
Wurfbewegung	I	259

Z.

	Bd.	Seite
Zahnräder	I	55
Zauberlaterne	I	707
Zaum, Prony's	I	317
Zeichnungsapparate	I	699
Zerlegung der Kräfte	I	43
— galvanische d. Chlormetalle	II	316
— galvanische der Salzlösungen	II	318
— — der Alkalien u. Erden	II	314

	Bd.	Seite
Zerlegung, prismatische d. Interferenzfarben	I	854
— — der Farben durchsichtiger Körper	I	612
— — der Farben undurchsichtiger Körper	I	614
Zerlegungsspiegel	I	802
Zerstreuung des Lichtes	I	602
Zerstreuungskreis	II	673
Zerstreuungslinsen	I	560
Zerstreuungspunkt	I	531.571
Zerstreuungsspiegel	I	522
Zerstreuungsvermögen	I	603
Zerstreuungsweite	I	532
Zimmerbatterie	II	217
Zinnober, Circularpolarisation desselben	I	909
Zitteraal	II	614
Zitterrochen	II	612
Zonen, klimatische	II	940
Zuckung, galvanische	II	604
Zündelektrisirmaschine	II	152
Zündmaschine, Döbereiner'sche	I	233
Zungen, durchschlagende und aufschlagende	I	442
— membranöse	I	447
Zungenpfeifen	I	441
Zusammendrückbarkeit	I	20
— der Flüssigkeiten	I	129
Zusammensetzung des weissen Lichtes	I	583
Zusammenziehung des ausfliessenden Strahls	I	326
Zweiaxige Krystalle	I	832

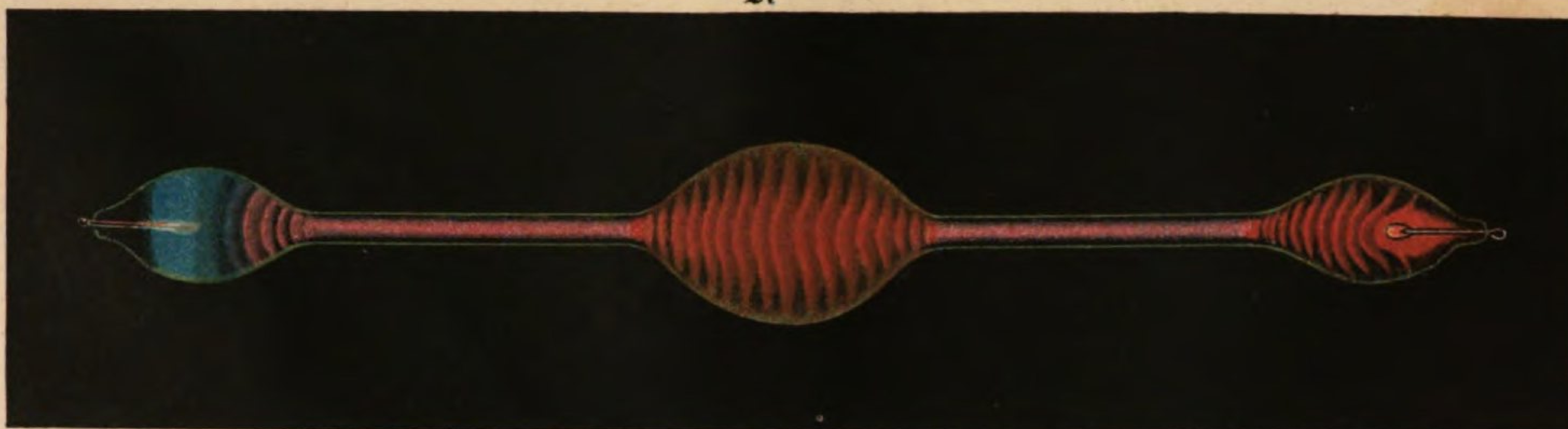
1.

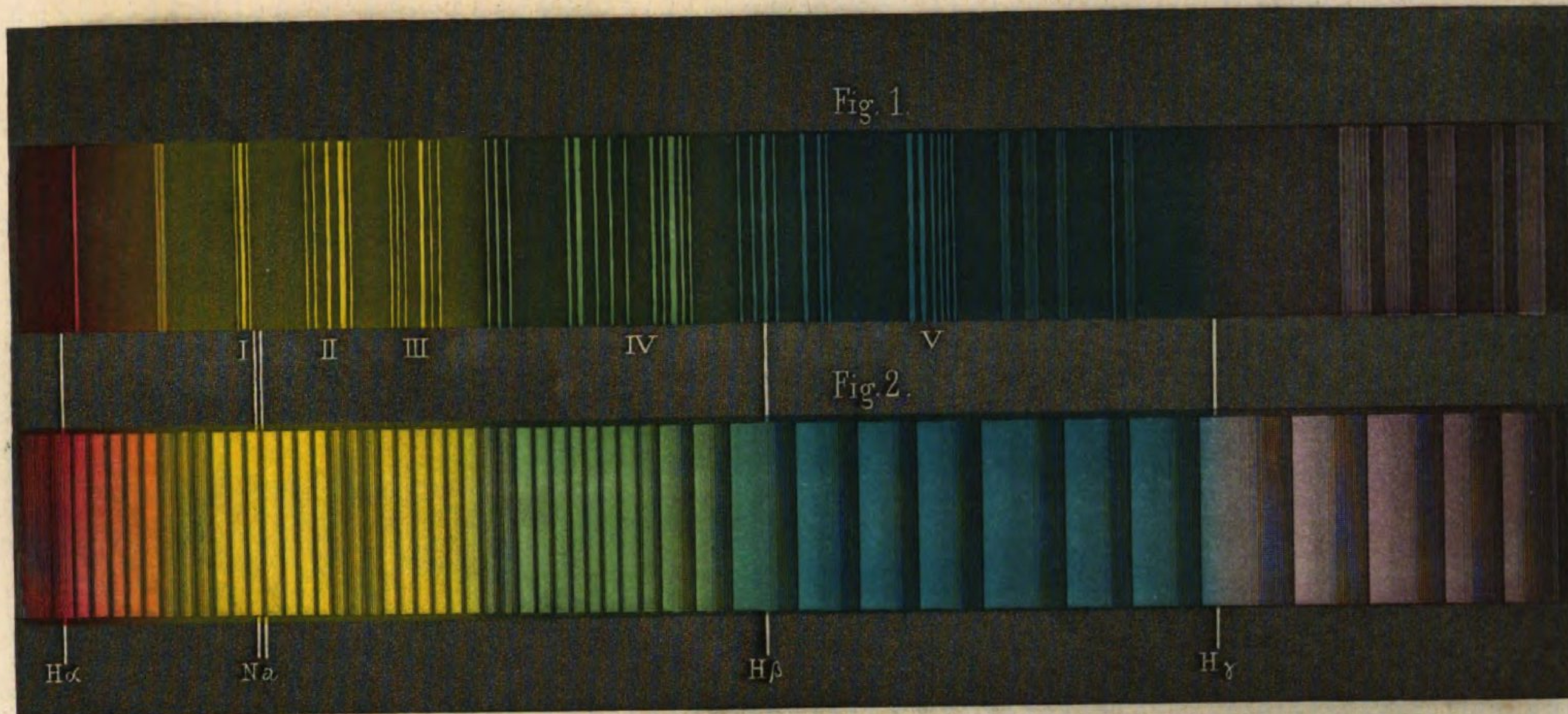


3.



2.




Fig. 1.
I
II
III
IV
V
Fig. 2.
Hα
Na
Hβ
Hγ

Phys
62
2

Dr. M

Lehrbuch

Meteor

Müller, Johann Heinrich Jacob,

Lehrbuch der Physik und Meteorologie theilweise nach Pouillet's Lehrbuch der Physik

Bd.: 2

Braunschweig (1868)

Phys.g. 627 z-2
urn:nbn:de:bvb:12-bsb10132408-2